

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

ГЕО-СИБИРЬ-2005

Т. 5

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Сборник материалов
научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2005

УДК 504:528.8
С 26

Ответственный за выпуск:
координатор направления «Мониторинг окружающей среды, геоэкология,
дистанционные методы зондирования Земли»,
доктор технических наук, профессор Сибирской государственной геодезической
академии
А.П. Гук

С 26 ГЕО-Сибирь-2005. Т. 5. Мониторинг окружающей среды, геоэкология,
дистанционные методы зондирования Земли: Сб. материалов научн. конгресса
«ГЕО-Сибирь-2005», 25 – 29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА,
2005. – 294 с.

ISBN 5-87693-167-5

В сборнике опубликованы материалы научного конгресса «ГЕО-Сибирь-
2005» направления «Мониторинг окружающей среды, геоэкология,
дистанционные методы зондирования Земли».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 504:528.8

ISBN 5-87693-167-5

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2005

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНОЕ РАЗВИТИЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ, ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ И МОНИТОРИНГА ПО АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Развитие современной фотограмметрии, методов фотограмметрической обработки снимков и фотограмметрических технологий основывается на использовании новых технических и программных средств.

К новым техническим средствам можно отнести:

- GPS – для определения элементов внешнего ориентирования в полете;
- INS – для определения угловых элементов внешнего ориентирования в полете;
- Новейшие прецизионные АФА;
- Космические съемочные средства высокого и среднего разрешения, позволяющие получать многоспектральные снимки;
- Сканерные съемочные системы (включая лазерную съемку);
- Цифровые съемочные камеры;
- Постоянно развивающиеся и модернизирующиеся стереоочки.

К программным средствам относятся:

- ГИС-системы;
- Системы машинной графики, такие как AUTOCAD;
- Средства анализа многозональных снимков, такие как Erdas Imagine;
- Сетевые программные средства и т.д.

В соответствии с этим, разработка новых фотограмметрических технологий заключается в тестировании и калибровке технических средств, разработке методики комплексирования и объединения новых программных средств, а так же разработке специализированных алгоритмов и программ для решения фотограмметрических задач.

Для этого необходимо выполнить исследования метрической точности, функциональности и экономической эффективности разрабатываемых технологий.

Основными методами фотограмметрической технологии обработки являются цифровые методы обработки изображений. Цифровые методы позволяют получать принципиально новую продукцию: цифровые ортофотопланы, цифровые модели рельефа, 3D модели; выполнять автоматизированной распознавание объектов на многозональных снимках. Кроме того, принципиально изменяется технология создания различных видов цифровых карт и получение других традиционных материалов. Это определяется, в первую очередь, метрическими свойствами цифрового снимка и, естественно, использованием новых технических программных средств. Изменяются традиционные методы аналитической фототриангуляции, методы формирования ЦМР, методы трансформирования и т. д.

Далее приводятся основные направления работ кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования:

- Цифровая фотограмметрия (цифровые стереоплоттеры, ортофототрансформирование, монтаж ортофотопланов);
- Аналитическая и цифровая фототриангуляция;
- Мониторинг поверхности земли по аэрокосмическим снимкам;
- Реконструкция трехмерных объектов по снимкам;
- Калибровка аэросъемочных цифровых камер;
- Создание трехмерных моделей микро- и макрообъектов (биологических объектов, растений, аэрозольных облаков).

Рассмотрим подробнее каждое из этих направлений.

Цифровая фотограмметрия (д.т.н. Гук А.П., к.т.н. Белошапкин М.А., к.т.н. Коркин В.С.).

Разработана новая версия цифрового стереоплоттера SDS-2. SDS-2 – сетевой цифровой стереоплоттер нового поколения, обладающий расширенными возможностями фотограмметрической обработки снимков и гибким интерфейсом, что позволяет существенно улучшить технологию создания цифровых карт по снимкам. SDS-2 предназначен для решения широкого круга фотограмметрических задач и обеспечивает:

- Составление цифровых топографических карт, карт землепользования и других видов карт крупных и средних масштабов по стереопарам снимков;
- Обновление различных видов цифровых карт;
- Наполнение и обновление данных для геоинформационных систем;
- Измерения координат точек модели в полуавтоматическом и автоматическом режимах;
- Выполнение цифрового трансформирования снимков;
- Ортотрансформирование снимков;
- Формирование цифровой модели рельефа для ортотрансформирования снимков, монтаж ортофотопланов;
- Обновление и составление контурной части топографических карт по одиночным снимкам с использованием цифровой модели рельефа, полученной по имеющимся цифровым или графическим картам;
- Стереоскопическую обработку снимков, полученных цифровыми камерами, для изучения различных видов объектов микро- и макроуровня.

Аналитическая и цифровая фототриангуляция (д.т.н. Антипов И.Т., к.т.н. Широкова Т.А., к.т.н. Комиссаров Д.В.).

На кафедре выполняются работы по развитию комплекса программ для аналитической фототриангуляции ФОТОКОМ 32.

В 2002 году был разработан новый программный компонент PHOTOSOM для построения и уравнивания сети пространственной аналитической фототриангуляции по исходным данным, подготовленным на цифровой фотограмметрической станции (ЦФС). PHOTOSOM является обособленным

продуктом, дополняющим основное программное обеспечение ЦФС ЦНИИГАиК. В состав программного компонента входят:

- Программа уравнивания фототриангуляции;
- Программа составления библиотеки геодезических проекций;
- Справочная система.

Во взаимодействии с основным программным обеспечением ЦФС ЦНИИГАиК перечисленные части открывают возможности для фототриангулирования в наиболее удобном режиме on-line. Также разработан комплекс автоматической фототриангуляции по цифровым снимкам TRIANGLE 2.0.

На рис. 1 представлены основные процессы автоматического фототриангулирования.

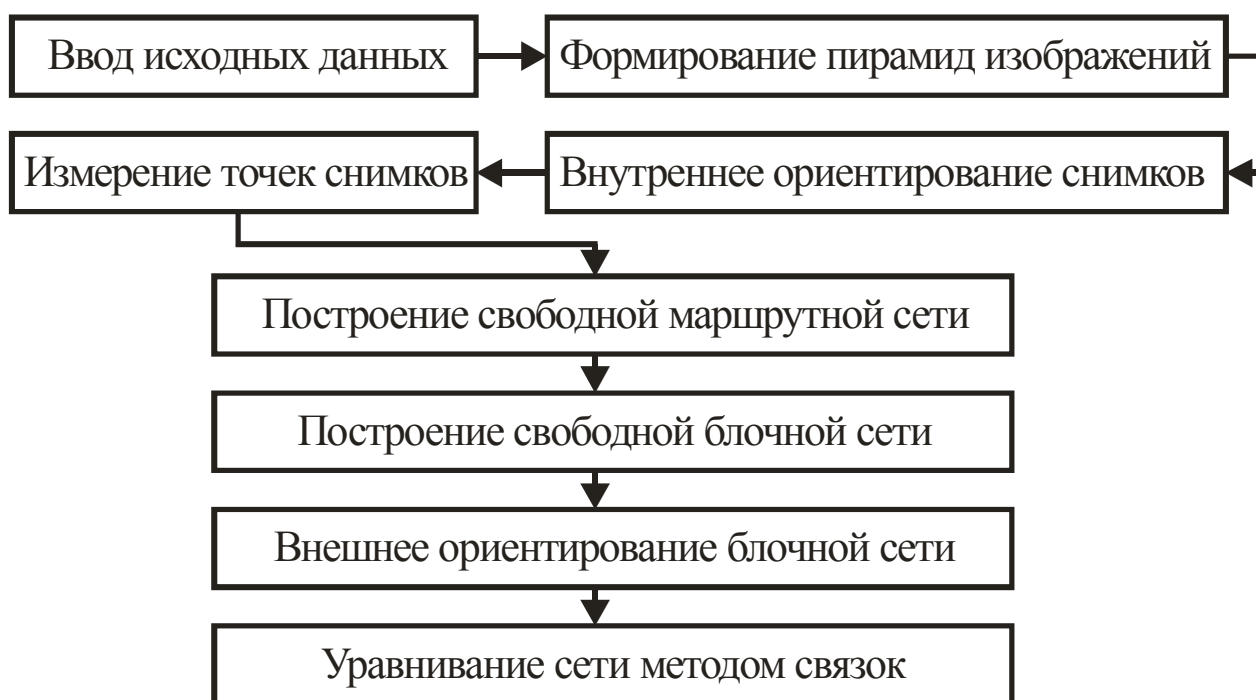


Рис. 1. Основные процессы фототриангулирования с использованием комплекса TRIANGLE 2.0

Блок автоматической фототриангуляции может работать совместно с ФОТОКОМ 32. Комплексы программ ФОТОКОМ 32 и TRIANGLE 2.0 согласованы по входным – выходным параметрам. SDS – 2 и все модули объединены в единый комплекс программ, позволяющий выполнять все процессы фотограмметрической обработки снимков.

Мониторинг поверхности Земли по аэрокосмическим снимкам (д.т.н. Гук А.П., к.т.н. Широкова Т.А., к.т.н. Кулик Е.Н., асс. Хлебникова Е.П., асс. Павленко А.В., асп. Никитина Ю.В.).

Работы, выполняемые в этой области, включают:

- Мониторинг мест нефтеразработок;
- Мониторинг лесных экосистем для лесохозяйственных организаций;

– Мониторинг водных объектов.

Дешифрирование многозональных космических снимков выполняется по специальной, разработанной на кафедре методике, основанной на использовании метода «Tasseled Cap» и метода главных компонент. Для дешифрирования многоспектральных снимков используются средства программного комплекса ERDAS. Экспериментальные работы выполнялись по снимкам Landsat 7 и космическим снимкам, полученным камерой МКФ-6.

С целью повышения точности привязки новых контуров, выявленных по космическим снимкам, и повышения качества дешифрирования снимков была разработана специальная методика, основанная на совмещении космических и аэрофотоснимков. В результате совмещения космических и аэрофотоснимков мелкие детали «переносятся» на космический снимок и в результате «повышается» информативность космического снимка, что позволяет качественнее выполнить дешифрирование и точнее определить местоположение новых объектов.

Экспериментальные работы по проверке предложенной технологии выполнялись по космическим и аэрофотоснимкам Карамовского нефтяного месторождения Ханты-Мансийского автономного округа. На этот объект были получены космические снимки Landsat – 7 (масштаба $\approx 1:1000000$, разрешение на местности – 30 метров) и аэрофотоснимки масштаба 1:18000.

Разработанные методики используются при мониторинге лесных пожаров, мест нефтезагрязнений, экологическом мониторинге. На рис. 2 представлена карта нарушения лесных территорий пожарами.



Рис. 2. Карта нарушения лесных территорий пожарами

Реконструкция трехмерных объектов по цифровым снимкам (д.т.н. Гук А.П., асс. Павленко А.В., асп. Гук Н.А.).

На кафедре разработаны методы съемки цифровыми камерами инженерных сооружений и методы фотограмметрической обработки снимков для реконструкции трехмерных объектов. На рис. 3 представлена виртуальная модель с наложением космического снимка Landsat – 7 на ЦМР.

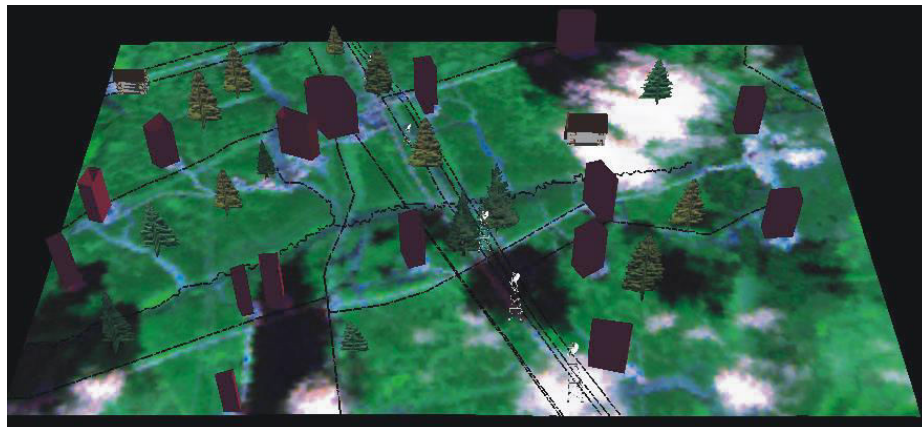


Рис. 3. Виртуальная модель с наложением на ЦМР космического снимка Landsat – 7 и построением трехмерных объектов

Калибровка цифровых и аэрофотоснимков (д.т.н. Гук А.П., д.т.н. Антипов И.Т., к.т.н. Прудников В.В.).

На кафедре разработаны методики и технологии калибровки аэрофото-съемочных и цифровых камер. Получен сертификат на право калибровки съемочных камер. Калибровка аэрофото-съемочных камер выполняется в лабораторных условиях по специальному пространственному тест-объекту, размещенному в одной из лабораторий кафедры. Для обработки измерений применяется программа, разработанная на кафедре. В год калибруется до 20-ти аэрофотоаппаратов для различных организаций, выполняющих аэрофото-съемку. Для калибровки цифровых неметрических камер разработана технология, использующая снимки тест-объекта с известными геодезическими координатами и программу EXOS, разработанную на кафедре.

Разработка новых методов создания карт, основанных на особых метрических свойствах цифровых аэрофотоснимков (д.т.н. Гук А.П., асп. Евстратова Л.Г.).

В существующих технологиях потенциальные метрические свойства цифровых снимков полностью не реализуются. Цифровые методы фотограмметрической обработки снимков позволяют разрабатывать разнообразные варианты цифровых карт и существенно изменить, ускорить процесс создания карт, а так же повысить экономическую эффективность.

В настоящее время разработана технология создания карт различного масштаба по аэроснимкам единого залета. Разработана технология создания карт по свободно ориентированной модели или по свободно ориентированной

сети, построенной по аэрофотоснимкам. Разработана методика привязки космических снимков по свободно ориентированной сети аэрофотоснимков.

Создание трехмерных моделей по материалам микро- и макросъемок (д.т.н. Трубина Л.К., д.т.н. Гук А.П., асп. Климашин А.М.).

На базе использования цифровых съемочных систем и цифровых фотограмметрических методов обработки изображений разработаны фотограмметрические технологии проведения экологического мониторинга для разных пространственных уровней исследований от локального до клеточного. Необходимая точность и детальность получения количественных показателей обеспечивается материалами разных видов цифровых стерео съемок. Разработаны и апробированы технологии обработки цифровой макро- и микросъемки для изучения биоразнообразия.

Для детального изучения биоценозов, морфологии отдельных живых организмов, структурного анализа различных растений разработана цифровая технология стереомикросъемки. Для изучения биологических объектов на клеточном уровне разработаны методики обработки стереопар микроскопических изображений, получаемых как оптическим, так и электронным микроскопами. Они нашли применение в морфометрии семян и пыльцы различных растений. В настоящее время открыта межведомственная учебно-научная лаборатория информационных технологий в гео- и биоэкологии по цифровой макро- и микросъемке, которой руководит проф. Трубина Л.К.

Также разработана технология цифровой съемки и методы обработки снимков для исследования динамики распространения искусственных аэрозольных облаков.

Кроме научных исследований на кафедре выполняются производственные работы. Выполнен ряд крупных проектов по созданию карт для инвентаризации мест нефтеразработок, созданию кадастровых карт, созданию ортофотопланов на обширные территории.

Студенты и аспиранты активно привлекаются к производственным и научно-исследовательским работам кафедры.

Таким образом, научно-производственный комплекс кафедры позволяет существенно улучшить подготовку студентов.

© А.П. Гук, И.Т. Антипов, 2005

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ СИБИРИ

Атмосферные аэрозоли (АА) играют решающую роль во многих атмосферных процессах (облако- и осадкообразование, радиационный теплообмен, видимость). Они оказывают существенное влияние на качество окружающей среды, климат, химию и физику атмосферы [1]. Поэтому в последние годы внимание к изучению атмосферных аэрозолей неуклонно растет. Свойства атмосферных аэрозолей определяются спектром размеров, концентрацией, химическим составом и структурой частиц. Диапазон размеров атмосферных аэрозолей охватывает 5 порядков величины, концентраций - более 10 порядков. Чрезвычайно сложен химический состав атмосферных аэрозолей. Поэтому проекты по исследованию АА носят с необходимостью комплексный характер и используют специальную аэрозольную аппаратуру и современную аналитическую технику. В последнее десятилетие крупные комплексные международные проекты, связанные с изучением глобальных изменений, как правило, содержат в своем составе блоки взаимодействия атмосфера - океан - суша, где значительное внимание уделяется изучению свойств атмосферных аэрозолей и их роли в различных биогеохимических циклах биосферы. Примером крупных комплексных международных исследований, проведенных во второй половине 90-х годов прошлого столетия, могут служить проекты ACE 1 [2] и ACE 2 [3], связанные с изучением взаимодействия морских и континентальных аэрозолей в Атлантике. Характерной особенностью этих проектов стало объединение усилий различных стран и использование всего арсенала средств, включающих наземные, надводные, воздушные и космические наблюдения, позволяющие изучать пространственно-временную изменчивость различных характеристик АА локального, регионального и глобального масштабов.

С начала третьего тысячелетия (2001 г.) начался крупный международный проект ACE-Asia, целью которого является изучение образования континентальных аэрозолей и их взаимодействие с морскими АА в азиатских странах Тихоокеанского региона [4]. Согласно современным представлениям о механизме образования АА, их можно разбить на три класса: морские, континентальные и смешанные. Последние два в настоящее время наименее изучены. Особо следует обратить внимание на атмосферные аэрозоли Арктического региона. В начале семидесятых годов прошлого столетия начался широкомасштабный комплексный международный проект "Арктическая дымка". Он связан с проблемой дальнего транспорта АА из крупных промышленных центров северного полушария и оценкой техногенной нагрузки таких эмиссий на Арктический бассейн. В настоящее время изучение Арктического бассейна имеет приоритетное значение для международного сообщества [5]. Это определяется особым влиянием этого региона на климат Земли, его громадными

минеральными и углеводородными ресурсами, слабой изученностью полярной биосферы, усиливающимся загрязнением Арктического бассейна техногенными продуктами.

Сейчас уже накоплена значительная информация о том, что в Арктику переносятся АА как техногенного, так и природного типа. Значительная часть таких аэрозолей образуется в Сибири. Это связано с тем, что Сибирь имеет огромную границу с Арктическим бассейном и разнообразные природно-климатические зоны. Здесь интенсивно развивается промышленность и сельское хозяйство, поэтому Сибирь является источником различных типов АА. В то же время в Сибири имеются территории, удаленные на значительные расстояния от крупных сильно загрязненных индустриальных центров. Эти регионы относят к категории "фоновых", где значительная масса аэрозолей образуется в результате естественных процессов, с небольшой примесью загрязняющих веществ. Города и многие регионы юга Сибири сильно загрязнены тяжелыми металлами. Уровень такого загрязнения заметно выше, чем в промышленно развитых странах Европы и Америки. Локальные загрязнения АА могут представлять серьезную опасность для здоровья людей, проживающих в этих районах. С другой стороны, гигантские точечные источники промышленных выбросов достаточно просты для изучения многих вопросов химии окружающей среды, поэтому здесь можно получить важные научные результаты с минимальными затратами. Многочисленные исследования характеристик АА в различных точках земного шара показывают, что значительную часть атмосферных поллютантов составляют частицы, образующиеся при ветровой эрозии поверхности земли и на поверхности морей и океанов. Это пылевые частицы и частицы, состоящие из морских солей. Содержание других частиц природного и антропогенного происхождения в АА, как правило, заметно меньше [1, 6]. Центральная Сибирь удалена на несколько тысяч километров от крупных источников почвенно-эрозионных аэрозолей. В зимний период в Сибири земля покрыта снегом, а водоемы, включая моря и океаны, скованы льдом. Таким образом, этот период крайне благоприятен для изучения дальнего транспорта промышленных выбросов [7-9].

Значительная часть территории Сибири покрыта лесом, который является мощным источником биогенных аэрозолей: первичного типа (например, пыльца растений) [10] и вторичных, образующихся в результате эмиссии реакционно-активных газов, которые в результате химических и фотохимических процессов конвертируются в аэрозольные частицы [11, 12]. Мощным источником атмосферных аэрозолей в Сибири являются лесные пожары [13].

Проект «Аэрозоли Сибири». Учитывая важность Сибири, как источника материалов для дальнего переноса в Арктику с начала 90-х годов параллельно международному проекту «Арктическая Дымка» начался интеграционный проект «Аэрозоли Сибири».

Целями проекта "Аэрозоли Сибири" являются:

- Изучение закономерностей образования, трансформации и переноса аэрозолей в Сибирском регионе на локальном, региональном и глобальном уровнях для выявления их основных источников и стоков;

– Оценка влияния атмосферных аэрозолей на качество атмосферного воздуха, уровни загрязнения растительности, почвы и воды, скорости миграции различных веществ и элементов в объектах окружающей среды;

– Выяснение воздействия атмосферных аэрозолей различной природы на атмосферные процессы, здоровье людей и животный мир.

Методика и результаты. К моменту начала проекта "Аэрозоли Сибири" в Северном полушарии Международным сообществом была образована развитая система наземного мониторинга аэрозолей, состоящая из 22 пунктов наблюдений. В то же время на территории бывшего СССР не было ни одной наблюдательной точки.

В настоящее время в Сибири организована наземная система мониторинга АА, охватывающая территорию Западной и Восточной Сибири с удалением точек наблюдений до 1500 км. В большинстве случаев для этого используются стационары различных Институтов СО РАН, что позволяет проводить исследования круглогодично. Кроме наземных наблюдений, развивается система космического мониторинга, собрана важная информация о масштабах лесных пожаров в бореальных лесах Сибири (рис. 1). Данные космического мониторинга обеспечивают только часть необходимой информации для описания экологических последствий лесных пожаров. Для получения недостающих сведений наблюдения из космоса сопровождаются наземными экспериментами на специальном полигоне, где, в частности, определяется величина газо-аэрозольных эмиссий в зависимости от типа лесных горючих материалов и режимов горения. Получены первые экспериментальные данные, позволяющие определить коэффициенты эмиссии основных радиационно активных газовых и аэрозольных эмиссий по массе сгоревшего лесного горючего материала, а также химическому составу образующихся аэрозолей субмикронной и грубодисперсной фракции.

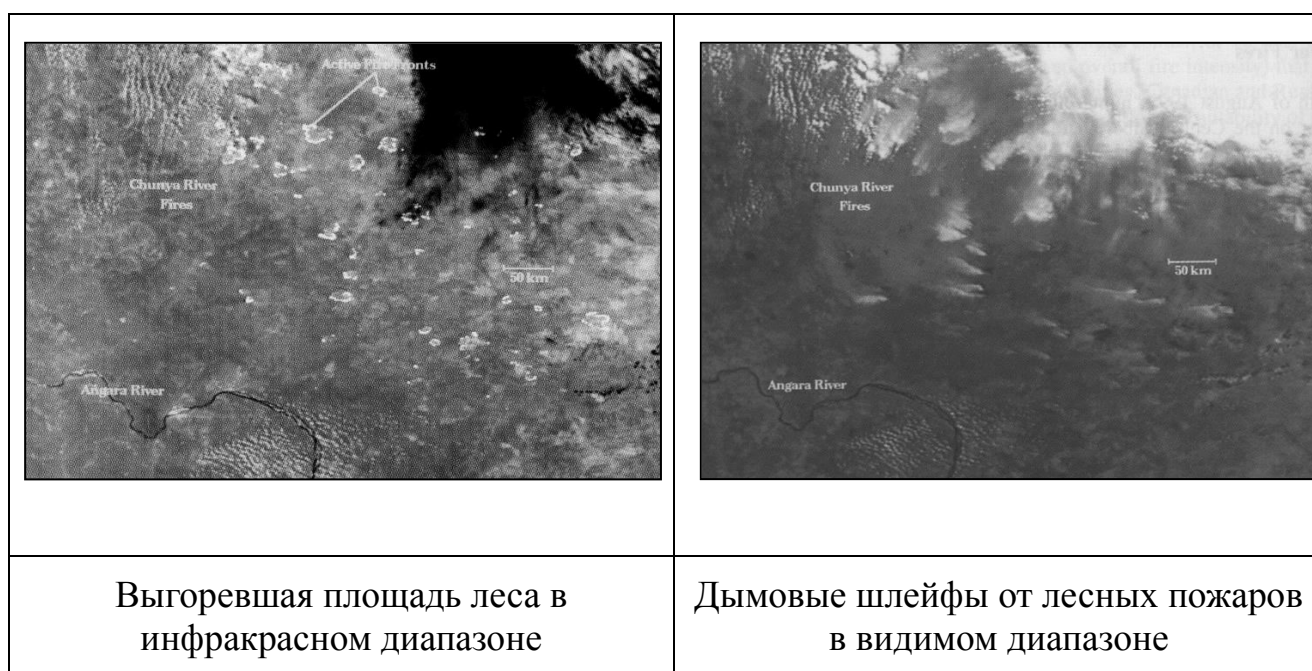


Рис.1. Космический мониторинг газоаэрозольных эмиссий при лесных пожарах

Эти результаты позволяют оценить влияние газообразных и аэрозольных эмиссий на климатические и экологические последствия лесных пожаров в бореальных лесах Сибири.

По результатам наземного и самолетного мониторинга в период с 2000 по 2002 год впервые получены данные о составе биокomпоненты АА Сибири и ее пространственно-временной изменчивости [14]. Для пыльцевой компоненты АА Западной Сибири выявлены закономерности суточной и сезонной изменчивости массовой и счетной концентрации, а также видового состава.

Комплексный мониторинг позволил:

А. По данным многоэлементного состава АА в зависимости от размера частиц

– Выявить три класса частиц: почвенно-эрозионные, характеризуются элементами, у которых 98% массы находится в грубодисперсной фракции ($d > 1 \mu\text{м}$); техногенные аэрозоли, характеризующиеся элементами, у которых 64 % массы находится в субмикронной фракции ($d < 1 \mu\text{м}$); аэрозоли смешанного типа, характеризуются элементами, массовые доли которых примерно поровну распределены между грубодисперсной и субмикронной фракциями [15].

На рис. 2 приведены экспериментальные данные по относительной среднемесячной концентрации (X_{Fe}) многоэлементного состава атмосферных аэрозолей (отношение концентрации i -го элемента, указанных на горизонтальной оси, к значению концентрации Fe) в зимний период в двух пунктах наблюдений на севере Западной Сибири. Удаление пунктов наблюдения друг от друга – около 250 км. Экспериментальные точки в одном пункте – Самбурге – обозначены кружками, для пункта – Тарко-Сале – квадратиками. Жирной линией указаны кларки этих элементов (относительные содержания элементов в почве). Это соответствует коэффициенту обогащения EF_c , равному единице. Считается, что значения $EF_c < 10$ указывают на элементы, источником которых является почвенно-ветровая эрозия.

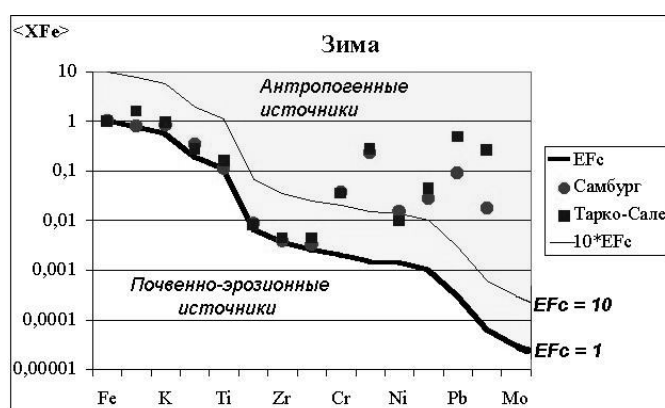


Рис.2

Те элементы, для которых $EF_c > 10$, связывают с антропогенными источниками. Кривая в виде тонкой линии соответствует значению $EF_c = 10$, поэтому в зону ниже тонкой линии попадают элементы от источников почвенно-

эрозионной природы, а элементы выше этой линии обусловлены антропогенными источниками. Видно, что на обоих графиках квадратики и кружки для каждого из определенных элементов расположены достаточно близко друг к другу. Это означает, что многоэлементный состав в каждой из почвенно-климатических зон примерно одинаков. Расстояния между точками наблюдения более 100 км. Это указывает на постоянство многоэлементного состава АА в региональном масштабе. Такая методика позволяет разделить все элементы на два класса. Анализ изменения массовой концентрации в зимний сезон на севере и на юге Западной Сибири (табл. 1) выявляет следующую картину.

Таблица 1. Массовая концентрация различных элементов АА Западной Сибири

Регион	Места отбора проб	Антропогенные элементы, нг/м ³							
		V	Zn	Ni	Cu	Pb	As	Ge	
Север	Тарко-Сале	16	18	5	9	40	6	1	
	Самбург	13	27	4	7	9	1	0,3	
Юг	Ключи	21	38	2	7	15	1	0,7	
Север	Тарко-Сале Самбург	Почвенно-эрозионные элементы, нг/м ³							
		Ca	Ti	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Fe
		380	17	8	0,7	0,2	0,7	0,2	190
		120	18	6	1,2	0,8	0,3	0,2	130
Юг	Ключи	2400	300	90	21	12	6	1,2	1800

Для элементов от антропогенных источников массовые концентрации на юге и севере близки друг к другу. Это означает, что загрязнение от этих источников носит глобальный характер. Для элементов почвенно-эрозионной природы массовая концентрация на севере в 6-60 раз ниже, чем на юге. Поэтому загрязнение от почвенно-эрозионных источников АА носит региональный характер. Отношение числа элементов от антропогенных и почвенно-эрозионных источников может служить мерой антропогенной нагрузки. Это отношение для разных сезонов года приведено в табл. 2. Из нее видно, что для северных районов, удаленных от крупных промышленных центров, относительная доля элементов антропогенного типа выше, чем доля элементов почвенно-эрозионной природы. Поэтому уровень техногенной нагрузки в удаленных ("фоновых") территориях сильнее, чем на юге, где сосредоточены крупные промышленные центры. Более детальные сведения о типе источников можно получить с использованием факторного анализа временной изменчивости среднесуточных значений массовой концентрации различных элементов.

Таблица 2. Относительные концентрации для оценки техногенной нагрузки на северные и южные регионы Западной Сибири

Место отбора	Число элементов		Отношение N ₂ /N ₁
	почвенно-эрозионных, N ₁	техногенных, N ₂	
Зима			
Север	9	8	0,9
Юг	15	6	0,4
Весна			
Север	10	7	0,7
Юг	18	3	0,2
Лето			
Север	10	6	0,6
Юг	20	1	0,05
Осень			
Север	10	7	0,7
Юг	18	4	0,2

Б. По данным ионного состава АА:

– Сопоставление ионного состава водорастворимой части аэрозолей и мокрых выпадений позволяет выяснить вклады газофазных и почвенно-эрозионных составляющих в процессах их формирования с учетом соотношения ионов атмофильных и литофильных элементов. Эти данные имеют самостоятельное значение в связи с проблемой "кислотных дождей", причиной которых является дефицит катионов, нейтрализующих анионы, генерируемые в атмосфере из газовой фазы или поступающие с летучими кислотами. Газофазные процессы генерации ИСАА дополняются реакциями нейтрализации с катионами солей из наземных источников и морских солей, что приводит к отсутствию кислотных выпадений на юге Западной Сибири [16]. На рис. 3 приведен пример изменения ионного состава (катионов и анионов) в зимний период на юге Западной Сибири для атмосферных аэрозолей и мокрых выпадений (снег). Видно, что катионный состав АА в основном определяется NH_4^+ (газофазного происхождения), Ca_2^+ + Mg_2^+ (почвенно-эрозионный источник) и Na^+ (морской источник). Анионная компонента определяется газофазными продуктами SO_4^{2-} , NO_3^- (летучие кислоты), Cl^- (морской источник), HCO_3^- (адсорбция CO_2 в жидкую фазу АА). Установлено, что изменчивость ионного состава АА существенно отличается от ионного состава мокрых выпадений. Это говорит о более сложном механизме формирования ионного состава мокрых выпадений, нежели захват АА.

– Временное изменение соотношения нитратов и сульфатов позволяет выделить периоды существенного влияния на состав АА эмиссии наземных лесных пожаров [13, 17].

На специальном полигоне в бореальных лесах Сибири получены экспериментальные данные о коэффициентах газоаэрозольной эмиссии при лесных пожарах в зависимости от сгоревшей массы лесных горючих материалов и режима горения. Определен химический состав ряда

газообразных продуктов и аэрозольных частиц [18]. Газообразные продукты горения, наряду с окисью углерода, оказывают существенное влияние на химические процессы в атмосфере и в ряде случаев приводят к образованию аэрозольных частиц. В табл. 3 приведены экспериментальные данные по эмиссии газообразных продуктов горения в пробах, отобранных на экспериментальном полигоне на земле и с вертолета.

– Разработана методика цифровой фотограмметрической обработки получения эквивалентного диаметра, поверхности и объема частиц неправильной формы, а также геометрических размеров аэрозольного облака при распространении в условиях термической и динамической неоднородности подстилающей поверхности [19, 20]. Компьютерная модель аэрозольного облака, полученная методом цифровой стереофотограмметрии, приведена на рис. 4. Эта методика позволяет моделировать в реальных условиях неоднородной подстилающей поверхности закономерности поведения аэрозольного облака от различных типов источников с известной мощностью и спектром размеров аэрозольных частиц. Такая информация необходима для тестирования существующих и разрабатываемых математических моделей распространения аэрозолей в реальной атмосфере в условиях неоднородной подстилающей поверхности. Проведена апробация применения цифровой фотограмметрической технологии для выявления влияния лесных пожаров на лесные биоценозы.

Таблица 3. Состав и мощность газообразных продуктов при лесных пожарах в бореальных лесах Сибири

Место отбора	Число элементов		Отношение N ₂ /N ₁
	почвенно-эрозионных, N ₁	техногенных, N ₂	
Зима			
Север	9	8	0,9
Юг	15	6	0,4
Весна			
Север	10	7	0,7
Юг	18	3	0,2
Лето			
Север	10	6	0,6
Юг	20	1	0,05
Осень			
Север	10	7	0,7
Юг	18	4	0,2

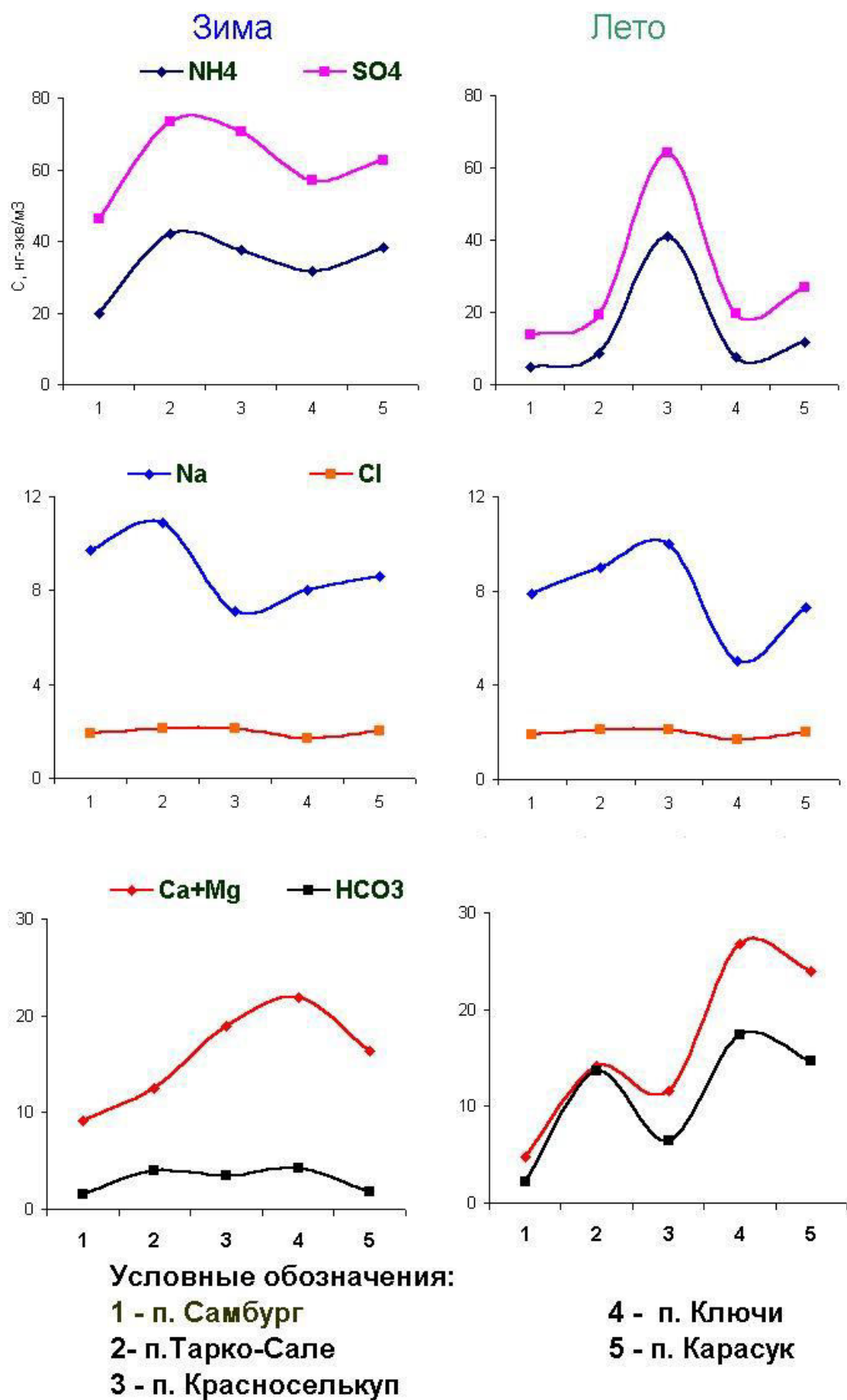


Рис.3

Утро, режим термоконденсационный



Совмещены два снимка в разные моменты времени.
Интервал фотографирования 8 секунд

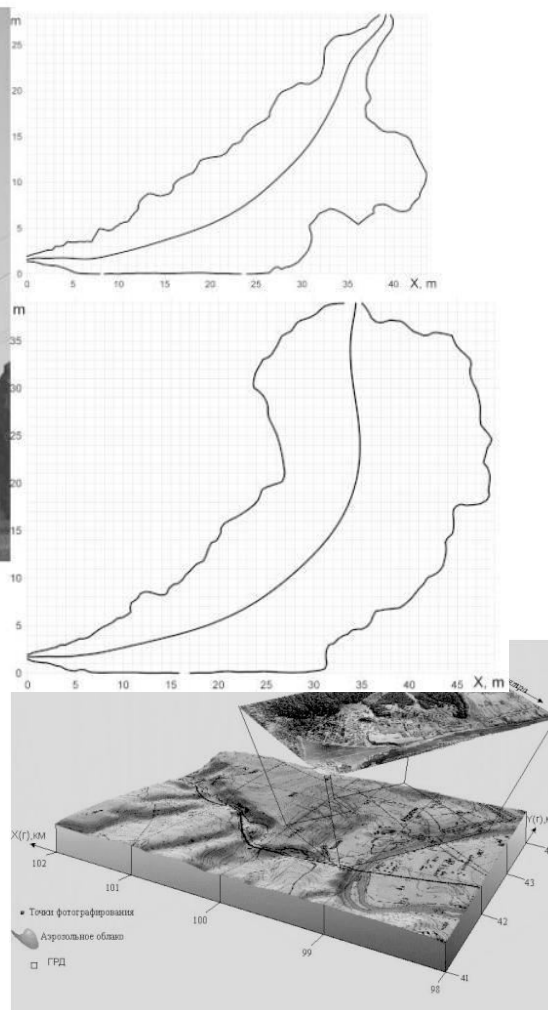
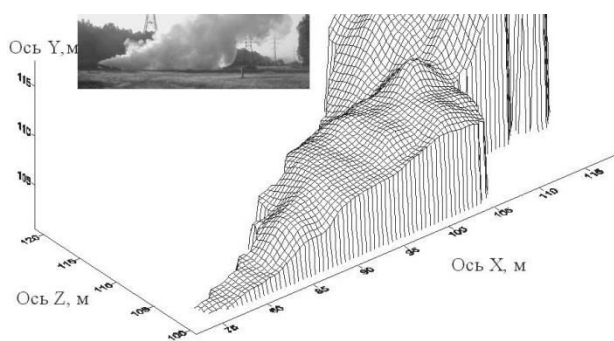


Рис. 4. Изучение распространения аэрозольного облака в условиях динамической и термической неоднородности подстилающей поверхности по цифровым стереоизображениям

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Seinfeld J.H., Pandis S.H. Atmospheric chemistry and physics. From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons Inc., 1998, 1326 pp.
2. Weber R.I. et al. A study of new particle formation and growth involving biogenic trace gas species measured during ACE-1. J. Geophys. Res., 1998, v. 103, p. 16385 – 16396.
3. Raes F., Bates T., McGovern F.M., Liederkerke M. The Second Aerosol Characterization Experiment (ACE-2): General overview and main results. 2000, Tellus B52, p. 111.
4. Symposium on Asian Dust Storm and Its Impact on Climate: ACE-Asia. Sixth International Aerosol Conference September 9-12, 2002, Taipei.
5. SEARCH. Study of Environmental Arctic Change. Science Plan 2001, Polar Science Center, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, 91 pp.
6. Whitby K.T. The physical characteristics of sulfur aerosols. Atm. Envir., 1978, v. 12, P. 135-159.
7. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Мониторинг химического и дисперсного состава атмосферных аэрозолей Сибири. Химия в интересах устойчивого развития. 1997, т. 5, с. 457 - 471.

8. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Аэрозоли Сибири. Итоги семилетних исследований. Сибирский экологический журнал. 2000, т. VII, № 1, с. 11-20.
9. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Комплексный мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири. В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. XIX, 2003, Санкт-Петербург, ГИМИЗ, с. 256 - 293.
10. Головкин В.В. Исследование пылевой компоненты атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири. Автореферат диссертации к.б.н., 2001, Новосибирск, 16 с.
11. Koutsenogii P. Measurements of Remote Continental Aerosol in Siberia. Ph.D. Dissertation, Johannes_Gutenberg University in Mainz, 1992, p. 106.
12. Куценогий П.К. Сезонная изменчивость суточного цикла массовой концентрации субмикронной фракции континентального атмосферного аэрозоля удаленных территорий. Химия в интересах устойчивого развития, 2002, т.10, № 5, с. 627 - 635.
13. Koutsenogii K.P., Makarov V.I., Kovalskaya G.A., Smirnova A.I., Smolyakov B.S., Pavlyuk L.A. The chemical Composition of the Aerosol Particle Produced by the Forest Fires in Siberia. Proceeding from: The Joint Fire Science Conference and Workshop, Grove Hotel, Boise, Idaho, June 15-17, 1999. "Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management". 2000, v. II, p. 219 - 222.
14. Андреева И.С., Бородулин А.И., Буряк Г.А. и др. Биогенная компонента атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири. Химия в интересах устойчивого развития. 2002, т. 10, № 5, с. 547 - 561.
15. Koutsenogii P.K., Boufetov N.S., Smirnova A.I., Koutsenogii K.P. Elemental composition of atmospheric aerosols in Siberia. Nuclear Instr. Method.Phys. Res., 1998, A405, p. 546 - 549.
16. Смоляков Б.С. Проблема кислотных выпадений в Западной Сибири. Химия в интересах устойчивого развития. 2002, т. 10, № 5, с. 521 - 545.
17. Смоляков Б.С., Куценогий К.П., Макаров В.И., Ковальская Г.А., Смирнова А.И., Павлюк Л.А., Филимонова С.Н. Влияние лесных пожаров на химический состав аэрозоля. Оптика атмосферы и океана. 1999, т.12, № 6, с. 523 - 527.
18. Koutsenogii K., Samsonov Y., Makarov V., Churkina T., Ivanova G., Ivanov A., Conard S., Baker S., Hao W., Mc Rae D., Smirnova A., Kovalskaya G., Smolyakov B., Chankina O., Savchenko T., Ecological consequence wildland fire in Siberian boreal forest. Macro and Trace Elements. Workshop, October, 18th and 19th, 2002. Main Building of the Friedrich Schiller University. Jena, 2002, p. 364 - 370.
19. Головкин В.В., Куценогий К.П., Киров Е.И., Трубина Л.К., Гук А.П. Использование фотограмметрии для определения характеристик пыльцы. Оптика атмосферы и океана. 2000, т. 13, № 9, с. 882 - 885.
20. Куценогий К.П., Макаров В.И., Самсонов Ю.Н., Киров Е.И., Гук А.П., Трубина Л.К., Черемушкин А.В. Экспериментальное исследование поведения аэрозольного облака в условиях динамической и термической неоднородности. Труды международной конференции RDAMM-2001, 2001, т. 6, ч. 2, Спецвыпуск, с. 255 - 260.

© К.П. Куценогий, Л.К. Трубина, 2005

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Космический мониторинг предполагает получение регулярной информации о состоянии окружающей природной среды на основе данных дистанционного зондирования Земли. Использование методов космического мониторинга является особенно актуальным для России с ее обширными и труднодоступными территориями, суровыми климатическими условиями и низкой плотностью населения. Его роль существенно возросла в связи с сокращением наземной сети гидрометеорологических станций и объемов авиационных наблюдений. Функциональные возможности разработанного в ИВМиМГ СО РАН совместно с НИЦ “Планета” Росгидромета РФ программного комплекса для обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли дают возможность использовать при обработке ДДЗ практически полный набор предложенных в [1] операций. Это такие операции как предварительная обработка ДДЗ, представленных в виде изображений, геометрические преобразования, кластерный анализ, контролируемая классификация и операции, направленные на обнаружение объектов заданной формы (линеаментов и кольцевых структур) на случайном фоне.

Предварительная обработка реализует обычный набор функций по фильтрации изображений (подавление шумов, подчеркивание границ, медианная фильтрация) и изменению яркостных и контрастных характеристик, включая гистограммные преобразования и преобразования, задаваемые пользователем в интерактивном режиме. **Геометрические преобразования** включают совмещение, масштабирование и ряд функций по отображению космических снимков на карту местности по набору опорных точек на снимке и карте. Операция совмещения позволяет объединить в один файл несколько наборов данных, соответствующих различным спектральным диапазонам (каналам), и визуализировать требуемое количество каналов (не более трех) при совмещении данных из каналов с различным пространственным разрешением. Функции по отображению космических снимков на карту разбиты на две группы: создание растровой карты и собственно отображение снимка на созданную карту. Создание карты заключается в формировании листа карты в выбранной картографической проекции (стереографической, Гаусса-Крюгера, Меркатора, Каврайского) по заданным географическим координатам и последовательном наложении на этот лист координатной сетки, контурных элементов из файлов в формате CBD (Compressed Binary Data), данных шейпфайлов ГИС ArcView, условных обозначений населенных пунктов и их наименований. Файлы в формате CBD содержат в компактном представлении информацию о данных векторных карт в масштабе 1:2000000. Отображение снимка на карту производится по набору опорных точек на снимке и карте. Реализованы два способа отображения: на основе триангуляции и

полиномиальное отображение. В первом случае по набору опорных точек снимка строится выбранная триангуляция (триангуляция Делоне, либо «жадная» триангуляция) и затем последовательно выполняются аффинные преобразования, отображающие треугольник снимка на треугольник карты. В случае полиномиального отображения по набору опорных точек снимка и карты строятся отображающие полиномы выбранной степени – первой, второй или третьей. Построение полиномов (нахождение их коэффициентов) проводится по критерию минимизации среднеквадратичного отклонения. Редактор опорных точек позволяет в интерактивном режиме позиционировать их на снимке и карте таким образом, чтобы точность отображения увеличивалась. Разработана система, позволяющая объединять изображения с результатами отображения различных снимков на одну и ту же карту (создание мозаик). Система может работать в двух режимах: с интерполяцией, когда с каждым пикселем связывается весовой коэффициент, значение которого зависит от координат пикселя, и пиксел результирующего изображения равен взвешенной сумме соответствующих пикселей, и без интерполяции, когда один пиксел замещает другой. В режиме с интерполяцией можно создать мозаику из 256 изображений. В режиме без интерполяции количество изображений для создания мозаики не ограничивается.

Система *контролируемой классификации (классификации с обучением)* в программном комплексе состоит из семи классификаторов (один поэлементный классификатор и шесть объектных), основанных на использовании байесовской стратегии максимального правдоподобия, и двух объектных классификаторов, основанных на минимуме расстояния. Под элементом здесь понимается N -мерный вектор признаков $x = (x_1, \dots, x_N)^T$, где N - число спектральных диапазонов, а под объектом блок смежных векторов квадратной или крестообразной формы. Предполагается, что векторы x имеют в классе ω_i нормальное распределение $N(m_i, B_i)$ со средним m_i и ковариационной матрицей B_i . Решение о принадлежности центрального элемента объекта тому или иному классу принимается на основе результата классификации всего объекта.

Необходимые для построения дискриминантных функций статистические характеристики – средние векторы, ковариационные матрицы, коэффициенты пространственной корреляции между значениями координат соседних векторов в горизонтальном и вертикальном направлениях – определяются на основе векторов из обучающих полей. Все классификаторы могут использоваться в двух режимах – тестовом и рабочем. По результатам работы классификаторов в тестовом режиме над векторами обучающих и контрольных полей формируется матрица ошибок, анализируя которую можно оценить (проконтролировать) качество обучения. Результатом работы классификаторов в рабочем режиме является одноканальное (байтовое) изображение, значениями пикселей которого являются номера классов. Это изображение окрашивается в предопределенные цвета, которые в интерактивном режиме могут быть заменены на определяемые пользователем цвета. Кроме того, к этому изображению можно применить одну из

двух функций постклассификации для удаления изолированных пикселей. Система контролируемой классификации имеет следующие характеристики: число обучающих образов – до 9, число классов – до 15, число обучающих и контрольных полей в классе – до 10, размер каждого поля – до 50×50 , размер объекта – от 1×1 до 11×11 , при этом размерность векторов данных не ограничивается.

Кластерный анализ (неконтролируемая классификация) в программном комплексе представлен двумя алгоритмами – методом K -средних и методом анализа мод многомерной гистограммы [2]. Первый подход основан на итеративной процедуре отнесения векторов признаков классам по критерию минимума расстояния от вектора до центра класса. Оптимальным считается такое разбиение входных векторов на кластеры, при котором внутриклассовый разброс не может быть уменьшен при переносе какого-либо вектора из одного кластера в другой. В основе второго подхода лежит предположение, что исходные данные являются выборкой из многомодового закона распределения, причем векторы, отвечающие отдельной моде, образуют кластер. Таким образом, задача сводится к анализу мод многомерных гистограмм. Гистограмма генерируется последовательным просмотром векторов данных и сравнением каждого вектора с текущим списком векторов. При этом либо изменяется соответствующее значение частоты, либо вектор добавляется в список. Для вычисления адресов векторов в списке используется хэш-кодирование. Первым шагом модального анализа является поиск ближайших соседей данного вектора списка среди других векторов списка. По определению вектор x есть ближайший сосед вектора y , если $|x_i - y_i| \leq 1$ для $i = 1, \dots, N$. Поскольку в реальной гистограмме присутствуют далеко не все ближайшие соседи, то для эффективного их поиска векторы предварительно упорядочиваются в многомерные бинарные деревья. В этом случае время поиска всех ближайших соседей данного вектора становится пропорциональным числу реально существующих соседей. Далее проводится локализация мод гистограммы. Вначале каждому вектору на основе анализа его ближайших соседей ставится в соответствие градиент. Вектору приписывается номер вектора с максимальным значением градиента. Если градиент меньше нуля, то это означает, что координаты вектора являются центром моды и вектору приписывается его собственный номер. В конечном счете каждой моде гистограммы сопоставляется ориентированный граф, корень которого соответствует точке максимума моды. Если количество получаемых кластеров (количество локальных максимумов гистограммы) больше заданного, то проводится сглаживание гистограммы. На завершающем этапе выполняется раскраска ориентированного графа одним цветом, т.е. всем вершинам графа присваивается значение, которое присвоено его корню.

В анализе космических изображений при решении прикладных задач дистанционного зондирования в мониторинге природной среды возникает проблема обнаружения протяженных объектов заданной формы, например, **линейных и кольцевых структур** на случайном фоне. При решении этой задачи в силу целого ряда причин предпочтение отдается статистическому

подходу [1]. Основная из них в том, что вследствие случайного характера природных процессов данные дистанционных измерений (спектросовмещенные изображения) содержат много случайных вариаций, маскирующих различия значений яркости изображения в точках области объекта и в точках области фона. В такой ситуации для обнаружения объектов эффективны так называемые непараметрические критерии, так как распределения статистик, используемых в этих критериях, не зависят от (неизвестных наблюдателю) распределений наблюдаемых величин, когда в поле зрения объекты отсутствуют. Предлагается следующая схема обнаружения объектов. Последовательно (или параллельно) анализируются (почти) все возможные положения объектов, интересующих исследователя. Для каждого возможного положения решение о наличии объекта принимается по результату проверки, с помощью подходящего критерия гипотезы однородности величин, наблюдаемых соответствующим образом. Удобный непараметрический критерий для проверки этой гипотезы можно построить по значениям двух пар статистик Манна-Уитни [3]. В программный комплекс обработки космических снимков ИВМиМГ СО РАН включены процедуры выделения линейных и кольцевых структур на АИ, в основу которых положен описанный выше статистический подход.

Рассмотренный выше программный комплекс для обработки данных дистанционного зондирования Земли был использован для решения ряда прикладных задач дистанционного зондирования (геологические исследования, изучение сейсмоактивности, анализ многолетней динамики изменения ледового покрова Арктики и Антарктики и др.) [5-7]. Программа прикладных дистанционных исследований Земли из космоса обширна и разнообразна. Кратко остановимся на задачах дистанционного зондирования Земли, для которых важна задача выделения линейных и кольцевых структур на АИ. Прежде всего, это *геологические исследования* Земли из космоса. Материалы аэрокосмических съемок, показавшие повсеместное распространение линейных и кольцевых образований в структуре земной коры, обусловили широкий к ним интерес со стороны геологов. Предварительные результаты свидетельствуют о перспективности статистического подхода к выделению линейных и кольцевых структур на АИ. Так обработка аэрофотоснимков восточной части Сибирской платформы Якутской кимберлитонесной провинции показала геологически значимую корреляцию выделенной статистическим методом системы линейных элементов и типов зон разрывных нарушений. Результаты выделения линеаментов (ЛЭ) позволяют разбить изображение на зоны разрывных нарушений трех типов (см. рис.1): *I* – узкие зоны, имеющие высокую плотность ЛЭ одного простирания; *II* – зоны ЛЭ двух простираний, как правило, более широкие, чем зоны типа *I*; *III* – зоны ЛЭ разных простираний. На основе анализа выделенных ЛЭ рассматриваемая территория может быть отнесена к категории «блоковых», кроме того, по известным месторождениям можно сделать вывод, что кимберлитоправления тяготеют к зонам типа *I*, являющимся результатом длительного направленного развития разрывов. Таким образом, районирование на основании характеристик ЛЭ, выделенных предложенным

методом, и привлечение априорной информации помогает производить оценку перспективности территории при поисково-разведочных работах в геологии.

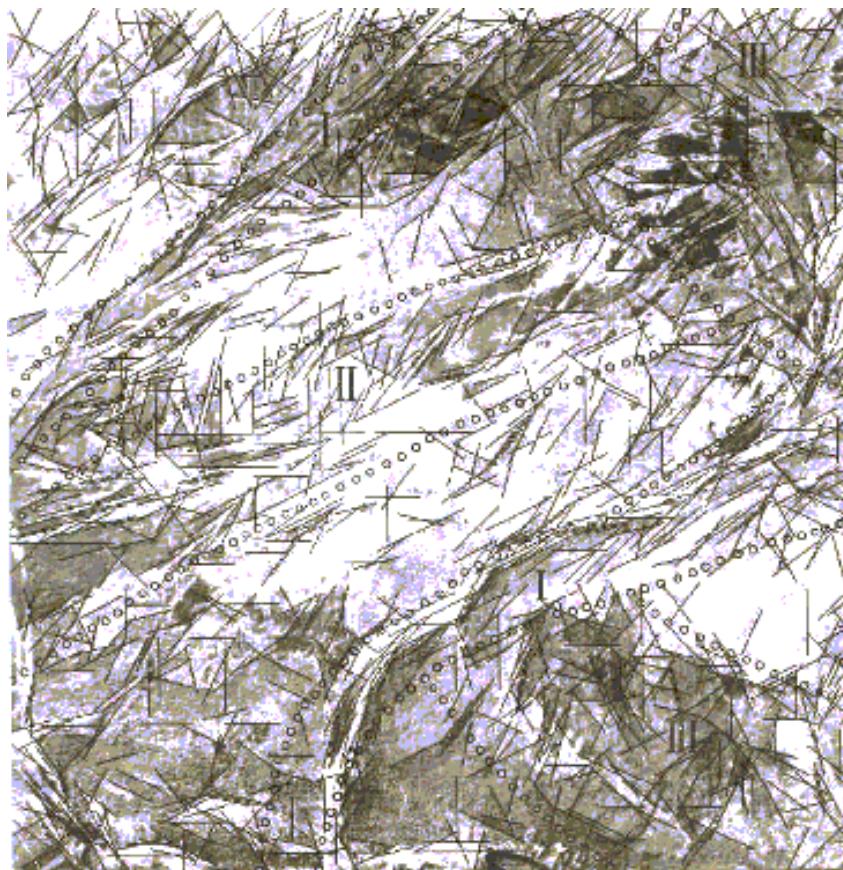


Рис.1. Зоны разрывных нарушений трёх типов

Статистический метод выделения линейных и кольцевых структур на АИ оказался достаточно эффективным при решении ряда задач **экологических исследований** Земли из космоса. В проблеме космической охраны Земли существует настоятельная необходимость изучения процессов падения небесных тел на Землю и картирование мест их падения. Два исторических космических факта подчеркивают актуальность решения проблемы выделения импактных кратеров на космических снимках. Это, безусловно, падение на Землю Тунгусского метеорита (1908 г.) и столкновение кометы Шумейкера-Леви с планетой Юпитер (1994 г.). Зона катастрофического вывала леса в районе Тунгуски составила 2000 кв.км., что значительно больше площади округа Вашингтон или города Нью Йорка в США. На космическом снимке планеты Юпитер после её столкновения с кометой Шумейкера-Леви было обнаружено восемь импактных кратеров, самый маленький из них не менее, чем 200 километров в поперечнике. Машинные эксперименты с реальными АИ подтверждают эффективность предложенного статистического подхода к выделению импактных кратеров на поверхности Земли. Еще одна задача экологической программы исследования Земли из космоса связана с изучением и картированием сейсмоопасных регионов по данным цифровой обработки аэрокосмических изображений и комплекса наземных наблюдений. С

использованием статистического подхода была проведена автоматизированная обработка космических снимков района Спитакского землетрясения и выделены две новые, крупные, дизъюнктивные зоны, не совпадающие с зонами известных глубинных разломов, и, по-видимому, играющие более существенную роль в тектонической структуре территории, чем это представлялось ранее. Показано, что практически все известные сейсмодислокации, разрушения в населенных пунктах и афтершоки Спитакского землетрясения приурочены к выделенным зонам и согласуются с их типом. Результаты могут служить основой для разработки новой технологии выделения дизъюнктивных зон, аномальных с точки зрения сейсмоопасности. Метод должен повысить точность и достоверность картирования территорий Земли по степени сейсмической опасности. В дальнейшем методика применялась для анализа сейсмических структур и оценки сейсмического риска сейсмически активных зон ряда других территорий: Калифорнии, Китая, Камчатки, Балкан [2].

Наблюдение за состоянием ледяного покрова Земли является одной из традиционных задач гидрометеорологии, климатологии и, в целом, мониторинга состояния окружающей среды. Оперативная информация о пространственном распределении, дрейфе, типе, возрасте, концентрации морского льда и айсбергов необходима для обеспечения безопасности навигации, рыболовства, добычи нефти и газа в полярных районах, а также для составления ледовых прогнозов различной заблаговременности. С точки зрения климатологии чрезвычайно важно накопление и анализ многолетних рядов данных о различных характеристиках ледяного покрова, являющихся индикаторами изменений регионального и глобального климата (границы и площади распространения морского льда, изменения границ материкового и шельфового льда Антарктиды и Гренландии, динамика отколов и разрушений айсбергов) [6]. Приоритет в данной области принадлежит отечественной серии спутников типа Океан с радиолокатором бокового обзора (РЛС БО), функционировавшим синхронно с оптическим сканером и СВЧ - радиометром. Данный уникальный комплекс аппаратуры явился основой первой в мире оперативно действовавшей (с 1983 года) системы мониторинга ледового покрова Земли. В последнее время в мониторинге ледовой обстановки в полярных районах Земли используется линеаментный анализ аэрокосмических изображений. Результат использования линеаментного анализа двух разновременных космических изображений ИСЗ NOAA представлен на рис. 2. На рис. 3 дан пример анализа динамики ледяного покрова в Арктике по многолетним архивным радиолокационным данным с ИСЗ Океан, при котором применялся разработанный программный комплекс.

Авторы считают, что в данной работе новыми являются оригинальные реализации алгоритмов геокодирования, монтажа, контролируемой и неконтролируемой классификации космических изображений, использование непараметрических статистических критериев для выделения линейных и кольцевых структур на аэрокосмических изображениях и разработка соответствующих информационных технологий для изучения природной среды

методами космического мониторинга. Многолетний опыт использования этих технологий для решения ряда прикладных задач дистанционного зондирования (геологические исследования, изучение сейсмоактивности, анализ многолетней динамики изменения ледового покрова Арктики и Антарктики и др.) подтвердил их достаточно высокую эффективность.

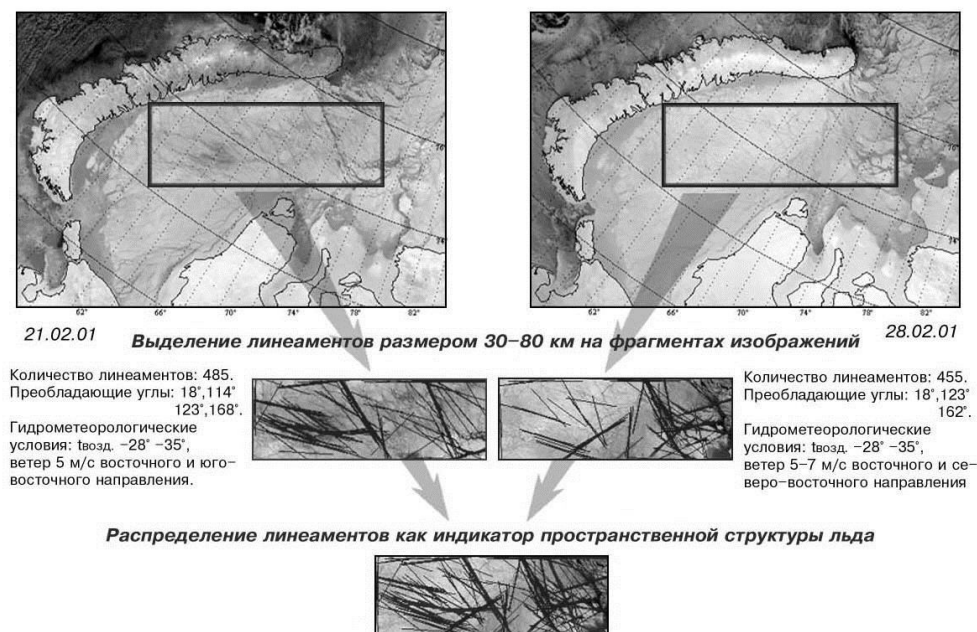


Рис.2. Результат линеamentного анализа двух разновременных фрагментов изображений акватории Карского моря, покрытой льдом (по данным ИСЗ NOAA-14; AVHRR; 10.5-11.5 мкм)

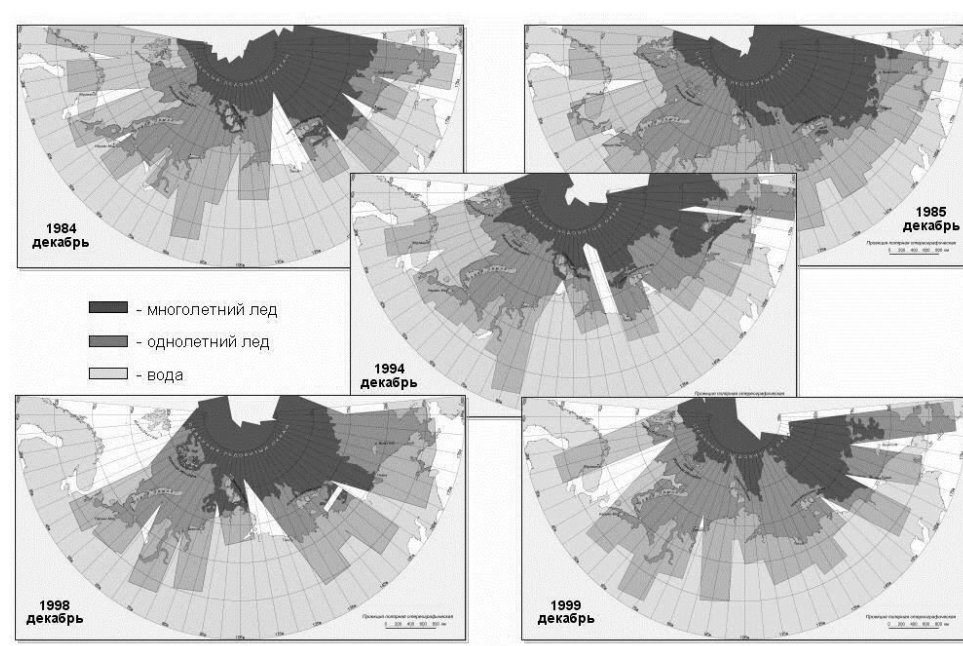


Рис.3. Динамика ледяного покрова в Арктике (по многолетним архивным радиолокационным данным с ИСЗ ОКЕАН)

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Интеграционного проекта РАН (проект № 13.15).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дистанционное зондирование: количественный подход. /Пер. с англ. Пяткина В.П. и Юдиной О.А. - М.: Недра, 1983. – 415 с.
2. Асмус В.В. Программно-аппаратный комплекс обработки спутниковых данных и его применение для задач гидрометеорологии и мониторинга природной среды. Диссертация (научный доклад) на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. На правах рукописи. Москва. – 2002.
3. Салов Г.И. О мощности непараметрических критериев для обнаружения протяженных объектов на случайном фоне.- Автометрия.1997. №3.с.60-75.
4. Buchnev A.A., Pyatkin V.P. Software for Solving Some Space Monitoring Problems. // Proceedings of the 6th German-Russian Workshop “Pattern Recognition and Image Understanding”, Katun village, Altai Region, Russian Federation, August, 25 - 30, 2003, p. 223 - 225.
5. Алексеев А.С., Асмус В.В., Милехин О.Е., Пяткин В.П. Изучение природной среды и климата методами космического мониторинга. //Труды Международной конференции “Математические методы в геофизике”, 8-12 октября, 2003, Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН,2003, ч. 1, с. 50 - 56.
6. Асмус В.В., Милехин О.Е., Кровотынцев В.А., Селиванов А.С. Использование радиолокационных данных ИСЗ серии Океан для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды// Исслед. Земли из космоса. 2002. № 3. с. 63 - 70.
7. Асмус В.В., Пяткин В.П. Прикладные задачи дистанционного зондирования в мониторинге природной среды. – Успехи современного естествознания. 2004. № 5. Приложение № 1. с. 215 - 217.

© В.В. Асмус, А.А. Бучнев, В.П. Пяткин, 2005

УДК 528.72

П.Д. Гук

СГГА, Новосибирск

АНАЛИЗ ОШИБОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛИ ПО УСЛОВИЮ КОМПЛАНАРНОСТИ И ПО УСТАНОВОЧНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

Известны два способа построения моделей на универсальных приборах: по условию компланарности и по установочным элементам. Второй вариант экономически эффективнее. Однако при работе на аналоговых универсальных приборах этот способ не нашёл применения из-за недостаточной точности построения модели. Низкая точность обусловлена ошибками установки элементов внутреннего и внешнего ориентирования. На аналитических и цифровых стереоплоттерах элементы ориентирования могут быть установлены безошибочно, то есть соответствующими тем, которые были определены.

Исследованиями было установлено, что играет роль не только точность установки элементов, но и то, каким образом они были получены.

Известно, что высокая точность определения элементов внутреннего ориентирования при калибровке аэрофотоаппаратов не обеспечивает восстановление связей лучей с достаточной точностью, так как во время аэрофотосъёмки эти элементы изменяются, и иногда очень значительно.

Способ самокалибровки, используемый при фототриангулировании, позволяет уточнить элементы внутреннего ориентирования. Однако из-за

влияния систематических ошибок, вызванных искажениями фотоизображения и ошибок опорных точек определение ошибок элементов недостаточно объективно.

В результате исследований характера влияния ошибок элементов внутреннего ориентирования на точность построения модели было установлено следующее.

Ошибки элементов внутреннего ориентирования до 0,05 мм существенного влияния на точность взаимного ориентирования снимков не оказывают.

Вне зависимости от того, каким способом строилась модель, происходит аффинное преобразование модели вдоль всех осей, которыми пренебрегать нельзя. Ошибки, вызванные аффинным преобразованием, выражаются формулами:

$$\delta X = \frac{Z}{f} \delta x_0, \quad \delta Y = \frac{Z}{f} \delta y_0, \quad \delta Z = \frac{Z}{f} \delta f, \quad (1)$$

где $\delta X, \delta Y, \delta Z$ — ошибки координат точек модели;

$\delta x_0, \delta y_0, \delta f$ — ошибки элементов внутреннего ориентирования;

Z — фотограмметрическая аппликата точки модели;

f — фокусное расстояние аэрофотоаппарата.

Аппликату Z можно выразить формулой:

$$Z = Z_{cp} + \Delta Z, \quad (2)$$

где Z_{cp} — высота фотографирования над средней плоскостью,

ΔZ — превышение точки над средней плоскостью.

Подставив (2) в (1), получим, что ошибки (1) делятся на две составляющие: постоянные для всех точек модели (функция от Z_{cp}) и переменную (функция от $\Delta Z = h$). При построении модели по условию компланарности при геодезическом ориентировании постоянная ошибка полностью исключится, так как ошибки внутреннего ориентирования компенсируются изменением линейных элементов внешнего ориентирования.

При построении модели по установочным элементам такой компенсации не происходит, и ошибки модели, вызванные ошибками внутреннего ориентирования, полностью сохраняются. Эти ошибки можно исключить, если при определении установочных элементов выполнить согласование элементов внутреннего и внешнего ориентирования снимков.

Это согласование выполняется, если установочные элементы определяются из двойной обратной фотограмметрической засечки способом, предложенным д.т.н Антиповым И.Т. В этом способе предусмотрено решение уравнений под условием, что все двенадцать элементов внешнего ориентирования определяются из совместного решения уравнений компланарности и коллинеарности.

Следует отметить, что согласование элементов внутреннего и внешнего ориентирования происходит и при обычной обратной засечке.

Для оценки эффективности использования установочных элементов, полученных из обратной засечки, были построены по реальным снимкам 5 моделей по условию компланарности и по установочным элементам.

Из анализа результатов эксперимента следует, что точность обоих способов одинакова, а для некоторых стереопар точность по установочным элементам оказалась выше.

Также был апробирован способ коррекции элементов ориентирования после построения модели по ошибочным элементам, который ранее был исследован по макетным снимкам. Сущность способа заключается в следующем.

Из изложенного ранее следует, что постоянная составляющая ошибки, вызванной ошибками внутреннего ориентирования (1), (2), проявится на опорных точках как систематическая ошибка. Вычислив систематические ошибки δX , δY , δZ , либо вводят поправки в элементы внешнего ориентирования

$$\sigma X_{S1} = \sigma X_{S2} = \sigma X, \quad \sigma Y_{S1} = \sigma Y_{S2} = \sigma Y, \quad \sigma Z_{S1} = \sigma Z_{S2} = \sigma Z,$$

либо поправки в элементы внутреннего ориентирования снимков

$$\delta x_0 = \frac{f}{Z_{cp}} \cdot \sigma X, \quad \delta y_0 = \frac{f}{Z_{cp}} \cdot \sigma Y, \quad \delta f = \frac{f}{Z_{cp}} \cdot \sigma Z. \quad (3)$$

Первый вариант аналогичен исключению ошибок при геодезическом ориентировании.

Второй вариант, предусматривает исправление элементов внутреннего ориентирования — предпочтительнее, так как позволяет учесть и переменную составляющую ошибки (1), (2).

Исследования по реальным снимкам выполнены по обоим вариантам.

Наилучшие результаты получены при коррекции элементов внутреннего ориентирования.

При обработке снимков равнинных и всхолмлённых районов (превышения до 1/10 от высоты фотографирования) можно применять любой из вариантов, так как переменная часть ошибки аффинного преобразования модели незначительна (1/10000 от высоты фотографирования).

В горных районах предпочтительнее выполнять коррекцию элементов внутреннего ориентирования.

© П.Д. Гук, 2005

УДК 525:5

Л.А. Пластинин, В.М. Плюснин

ИрГТУ, Иркутск

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «ОСНОВЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И КОСМИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ»

Дистанционное зондирование из космоса, энергично развиваемое с начала шестидесятих годов двадцатого столетия предоставило научной и практической картографии материалы, без которых в настоящее время не обходятся любые картографические работы. Если с помощью аэрофотоснимков в нашей стране к этому времени уже была успешно решена задача топографического картографирования, то космические снимки нашли широкое применение в тематическом картографировании. Кроме того, обновление ранее созданных

топографических и других карт ведутся в настоящее время по материалам, полученным из космоса.

Быстро набирает темпы дистанционный контроль за состоянием окружающей среды. Материалы из космоса используются в разработке природоохранных мероприятий и планировании работ в сельском, лесном, водном хозяйстве, горнодобывающих отраслях и изысканиях при разнообразном строительстве. Фундаментальные и прикладные исследования в науках о Земле все шире опираются на материалы из космоса.

Интенсивное развитие тематического и комплексного картографирования, выражающееся в росте тематической изученности, как России, так и других стран мира, разработке новых видов карт, совершенствовании методов их создания, в значительной мере обязано использованию космической информации. Эти работы существенно продвинули вперед теорию и практику тематического дешифрирования, которое остается основным методом извлечения содержательной информации со снимков.

Быстро растущий объем космической информации, и разносторонний характер применения космических снимков ставят задачи подготовки специалистов, владеющих методами извлечения информации, ее интерпретации для решения конкретных, в том числе и картографических задач.

В основу настоящего учебного пособия положены лекции, читаемые авторами в Иркутском государственном университете и Иркутском государственном техническом университете.

Бурный рост публикаций по методам дистанционного зондирования Земли и тематического картографирования, в том числе иностранных авторов, дает возможность обновления, переосмысления ранее изданных учебных пособий по этой тематике, некоторого изменения содержания читаемого курса.

В содержательном плане, в первых трех главах первой части пособия, изложены физические основы дистанционного зондирования и космических методов изучения Земли. Определены возможности, выявлены преимущества и особенности тематического картографирования с использованием космической информации. Рассмотрен спектр электромагнитных волн, представлены некоторые физические законы, описывающие отражательные свойства объектов, интенсивность излучения нагретых тел, их частоту и энергию. Приведен пример искусственного источника излучения.

В последующих трех главах первой части рассмотрены носители космических съемок, как отечественные, так и зарубежные, а также виды космических съемок – фотографирование из космоса, сканерная, телевизионная, тепловая, радиолокационная съемки. Приведена классификация космических снимков и представлены на примерах особенности материалов разных космических съемок. Изобразительные свойства снимков показаны в седьмой, а методы обработки и дешифрирования аэрокосмических снимков (визуальное, инструментальное и автоматизированное) в восьмой главе первой части книги.

Девятая, десятая и одиннадцатая главы скомпонованы во второй части книги под названием «Методы космического картографирования». Здесь детально рассмотрены методика создания и обновления топографических карт с

использованием космических снимков, особенности технологии и этапы составления тематических карт. Научно-методическая работа завершается разработками авторов по технологии, составлению и изданию тематических карт, в т.ч. в электронном варианте.

Читатель найдет в пособии доступное изложение физических основ аэрокосмических методов, получит представление о видах и носителях космических съемок, а также материалах, получаемых из космоса. Познакомится с методами обработки космических снимков, технологией создания тематических карт по космическим снимкам. Отдельные главы посвящены особенностям картографирования рельефа, растительности, водных объектов, других по тематике карт природы, составлению карт динамики процессов и явлений, нарушенности природных комплексов и проблемам автоматизации дешифрирования космических снимков для целей тематического картографирования.

Термин «космическое картографирование» обозначает как картографирование планет и других объектов в космосе, так и картографирование Земли из космоса. В данном учебном пособии рассмотрены теоретические и методические вопросы создания карт земной поверхности по материалам из космоса.

Фотографические съемки поверхности Земли, выполняемые с воздушных носителей – самолетов, вертолетов, широко используемые в развитых странах с 30-х годов, сыграли значительную роль в топографическом и тематическом картографировании этих государств, принесли много нового в сельское и лесное хозяйство, геологию и другие отрасли, связанные с изучением Земли. Появление с конца 60-х годов космических съемок значительно расширило область применения этих методов, да и сам аэрокосмический метод претерпел ряд изменений. Появились новые виды съемок, сформировались целые направления, разрабатывающие технику, технологию, методику этих съемок.

За рубежом этот метод чаще именуется дистанционным зондированием Земли (ДЗЗ), который в широком смысле обозначает изучение объектов на расстоянии, без непосредственного контакта приборов, регистрирующих какие-либо параметры.

Съемка в более широкой полосе электромагнитного спектра, чем видимый диапазон, увеличила возможности чувственного восприятия, в том числе стали возможными съемки ночью и при сплошном облачном покрове, чему способствовали радиолокационные методы зондирования.

Глобальный характер поступающей информации позволил по иному смотреть на ряд динамичных процессов и закономерностей их проявления. Сформировались новые направления исследования этих закономерностей, как например, в метеорологии – синоптический нефанализ, в геологии – геоиндикация протяженных линеаментов, кольцевых и купольных структур и связанных с ними полезных ископаемых, в экологии – космический мониторинг, в биогеографии – исследование состояния растительного покрова и воздействие человека на природу, в частности, в связи с процессами

опустынивания, сведением лесов, горными разработками, мелиорацией, вторичным засолением почв и т.п.

Возможность планомерного и постоянного получения космической информации позволила наблюдать различные процессы не только в пространстве на больших территориях, но и во времени с любой периодичностью – от ежегодных до нескольких раз в сутки.

Колоссальный объем информации, поступающей из космоса в настоящее время чаще в виде потока цифр, поставил проблему ее обработки. Главной задачей становится не получение новых видов съемок, а обработка получаемых материалов. Это привело к созданию автоматизированных систем обработки космической информации. Машинная обработка данных, разработка комплексов распознавания образов, математического и программно-технического обеспечения, автоматизация составления карт стали важнейшей областью перспективных исследований, наряду с совершенствованием съемочной техники и технологии получения более качественных материалов, внедрением дистанционного зондирования в отрасли, ранее их не использующие.

Специалист-картограф, применяющий аэрокосмические методы на практике, кроме знания физических основ и технических возможностей обработки материалов дистанционного зондирования, должен иметь представление и об ограничениях применения методов в процессе работы, но в любом случае не может не учитывать многообразный характер получаемой при этом информации.

Снимок позволяет изучать совокупность природных закономерностей, которые сформировали фиксируемые объекты или процессы. К дешифрированию любых объектов, процессов, географических систем следует подходить комплексно, с географических позиций.

Компьютеризация исследований требует обобщения значительной площадной количественной информации, которая наряду с картографической векторной может быть объединена в геоинформационных системах (ГИС) с растровой космической. В этом видится путь основного направления космического картографирования Земли.

Учебное пособие «Основы дистанционного зондирования и космического картографирования Земли» по своей структуре и назначению имеет много общего с перспективными дисциплинами, находящимися на стыке географии, картографии, математики и геоинформатики, которые получили название в нашей стране «Геоинформационное картографирование». Но в отличие от них настоящее учебное пособие акцентирует внимание на фундаментальном космическом картографировании. Поэтому оно является базовым и играет основополагающую роль необходимого инструментария современных автоматизированных картографических и геоинформационных технологий и методов.

Учебное пособие «Основы дистанционного зондирования и космического картографирования Земли» имеет важное познавательное и учебно-методическое значение для студентов географов, картографов, геодезистов и

геоэкологов, а также для широкого круга специалистов, которые заинтересованы в применении методов дистанционного зондирования и космического картографирования при решении научных и практических задач.

Публикуемое учебное пособие представляется авторами как первая часть более широкого издания и планируется его продолжение в части применения космических методов в разработке содержания новых видов тематических и экологических карт, в географических исследованиях Земли из космоса.

© Л.А. Пластинин, В.М. Плюснин, 2005

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГИС СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА)

Эффективность реализации системы социально-гигиенического мониторинга (СГМ) во многом зависит от выбора информационных технологий, применяемых для его ведения. Используемые в системе СГМ информационные технологии должны обеспечивать оперативное наблюдение за состоянием санитарно-эпидемиологического благополучия населения, его оценку и прогноз изменений, установление и устранение воздействия факторов среды обитания на здоровье населения. В системе информационного обеспечения мониторинга должна использоваться комплексная многоаспектная информация различных ведомств – субъектов ведения социально-гигиенического мониторинга, включающая медико-демографические, социально-экономические, санитарно-гигиенические, экологические данные, взаимоувязанные характеристики элементов региональной инфраструктуры, градостроительства, земельных и природных ресурсов. На основании проведенного предпроектного обследования предметной области специалистами ФГУП «Уралгеоинформ» и ФГУ «Центр Госсанэпиднадзора в Свердловской области» были определены первоочередные направления разработки ГИС СГМ для оперативного управления санэпидобстановкой и снижения экологических рисков для здоровья населения на региональном и местном уровне.

Для решения комплекса поставленных задач наиболее приемлемы интегрированные географические информационные системы (ГИС). Геоинформационная система социально-гигиенического мониторинга (далее ГИС СГМ), разрабатываемая в Свердловской области, представляет собой аппаратно-программный комплекс (см. рис. 1), позволяющий осуществлять сбор и хранение исходных данных, решать аналитические и расчетные задачи и отображать полученный результат на картографической основе в виде тематической информации.

В геоинформационной системе СГМ реализованы следующие блоки:

- Блок сбора и хранения исходной информации, позволяющий оперативно получать доступ к необходимым данным по мониторингу загрязнения среды обитания, состоянию здоровья населения, социально-экономической обстановке, численности населения в единых форматах информационного фонда;
- Аналитический блок, позволяющий выполнять анализ для выработки управленческих решений. Результатами обработки является ранжирование микрорайонов городов по загрязнению атмосферного воздуха по результатам моделирования рассеивания, рискам для здоровья населения, пространственный анализ и выбор техногенно загрязненных зон, оценка численности

проживающего населения, дошкольных учреждений и групп риска среди детей, как наиболее подверженных воздействию. В системе создаются тематические слои медико-экологической информации, проводится анализ и ранжирование территорий области по показателям санэпидобстановки с формированием атласа «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Свердловской области» для лиц принимающих решения;

– Картографический блок, в состав которого входят единые классификаторы цифровой топографической информации, правила цифрового описания геопространственных объектов, цифровые карты и планы муниципальных образований. Реализована возможность визуализации результатов анализа и формирования тематических карт.



Рис. 1. Техническое обеспечение ГИС СГМ

Каждый из блоков представляемой геоинформационной системы может функционировать как самостоятельно, так и в комплексе, в зависимости от решаемых пользователем задач. Основные компоненты базы данных, реализованные на первом этапе разработки ГИС СГМ, представлены на рис. 2.

Создаваемая ГИС СГМ позволяет выполнять следующие функции:

- Создание, обновление и актуализация баз данных о состоянии здоровья и среды обитания человека в единых форматах информационного фонда, “привязка” анализируемых явлений к конкретной точке (объекту) на карте;
- Обеспечение основы для документооборота, в частности использование разнообразной информации, необходимой для ведения СГМ от субъектов мониторинга и предоставление возможности использования внесенной в систему информации на всех уровнях управления;
- Пространственно-временной анализ и совместная интерпретация качественных, а также количественных признаков, фиксируемых на местности;

выявление взаимосвязей между изучаемыми явлениями, с использованием встроенных функций статистического анализа;

- Синтез тематических, комплексных и специализированных картографических материалов;

- Представление имеющихся в системе данных в наиболее наглядном виде — в качестве информационных слоев, нанесенных на единую топооснову; формирование электронных медико-экологических атласов территорий;

- Представление обработанной, наглядно интерпретированной информации и подготовка проектов решений для лиц, принимающих решения, разработки и обоснования целевых программ.

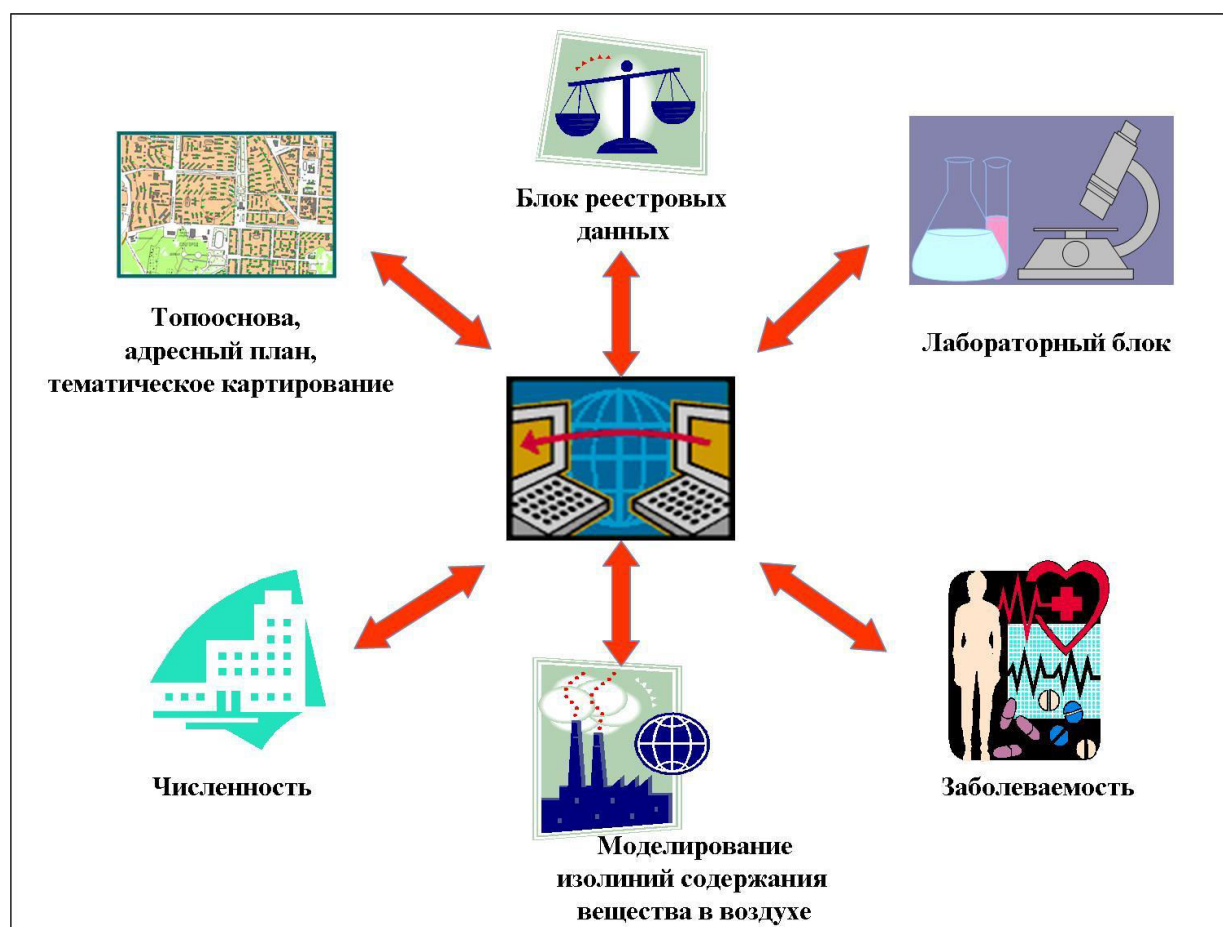


Рис. 2. Основные компоненты базы данных ГИС СГМ 1 этапа

Ежегодно результаты анализа санитарно-эпидемиологической обстановки с использованием ГИС-технологий формируются в Атлас. В качестве примера на рис. 3 представлены результаты ранжирования территорий области по уровню санитарно-гигиенической обстановки.

Внедрение ГИС СГМ ведется на территориях городов Свердловской области с экологически неблагоприятной обстановкой (рис. 4), но существует ряд проблем информационного обеспечения ведения мониторинга: дублирование и потери информации при передаче от различных ведомств, разные форматы данных, отсутствие единой цифровой картографической

основы, адресных планов городов, требований к единым форматам обмена данными.

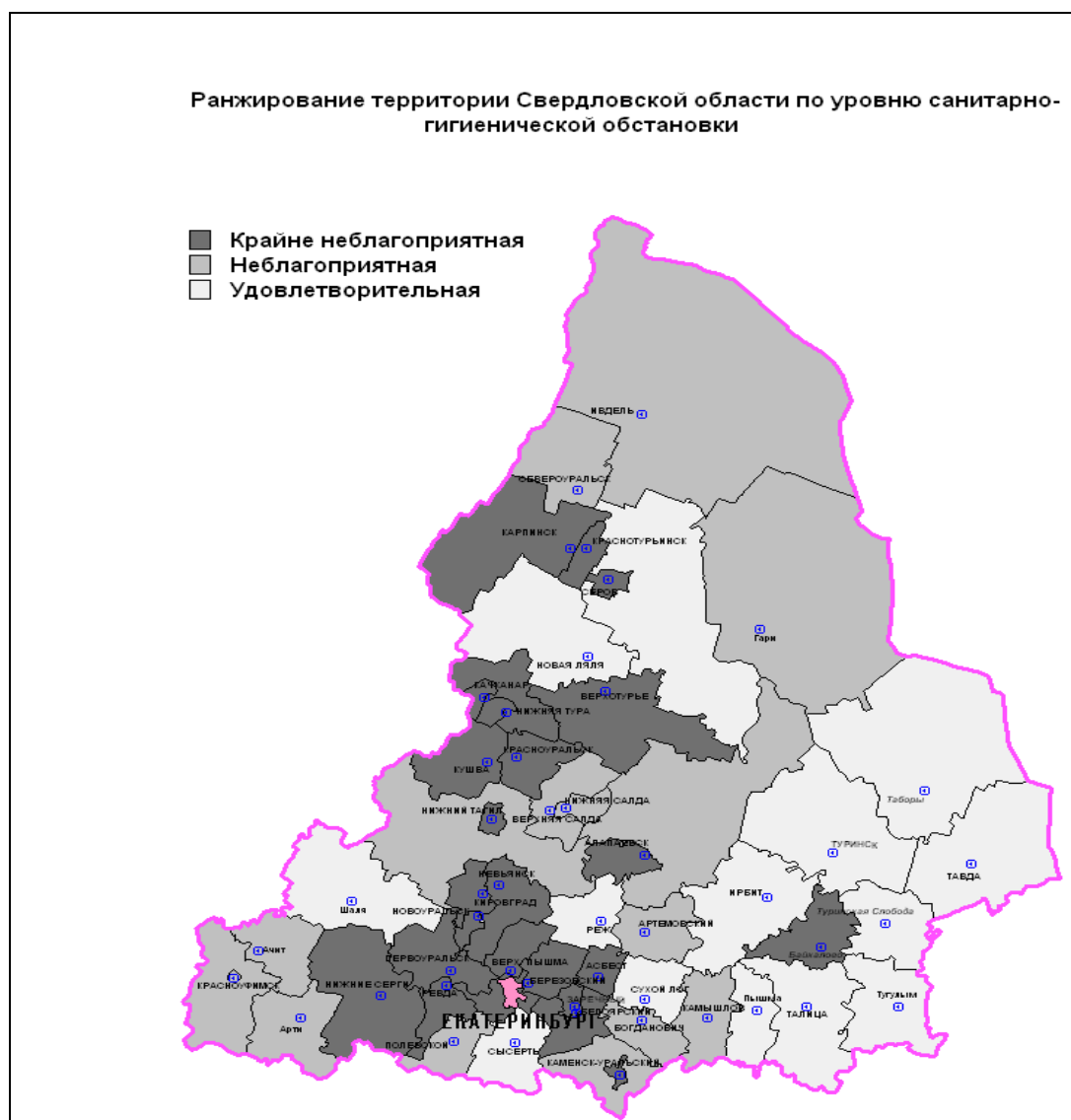


Рис. 3. Пример ранжирования территорий области по уровню санитарно-гигиенической обстановки

В системе ГИС СГМ на 1 этапе формируются электронные слои информации по загрязнению атмосферного воздуха и моделированию рассеивания, почвы, питьевой воды, численности подверженного населения, дислокации дошкольных образовательных учреждений, школ, состоянию здоровья населения, рискам для здоровья населения.

В результате пространственного анализа проводится ранжирование территорий городов, установление наиболее загрязненных микроучастков и зон города, оценка численности подверженного населения, групп риска среди населения. В экологически неблагополучных территориях реализуются мероприятия по реабилитации здоровья населения, в первую очередь из групп риска. Планируется дальнейшее развитие ГИС технологий для решения задач

информационно-аналитического обеспечения социально-гигиенического мониторинга на региональном и местном уровнях.



Рис. 4. Перечень экологически неблагоприятных территорий в Свердловской области, где осуществляется внедрение 1 этапа ГИС СГМ

Для полноценного функционирования системы социально-гигиенического мониторинга необходимо межведомственное взаимодействие, создание единых информационных баз данных по показателям состояния здоровья населения, загрязнения среды обитания, численности населения и т.д., программного обеспечения, базирующегося на геоинформационных технологиях, что позволит обеспечить работу всех субъектов мониторинга, направленную на установление приоритетных направлений деятельности для разработки эффективных профилактических мероприятий.

© А.А. Алябьев, С.В. Серебряков, В.Б. Гурвич, О.Л. Малых, 2005

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБНОВЛЕНИЯ КАРТ И ПЛАНОВ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В последние годы стал быстро развиваться рынок космических снимков высокого разрешения (менее 1 метра), полученных с коммерческих спутников. Космические снимки высокого разрешения стали применяться в различных областях:

- Для ведения мониторинга различного назначения;
- В земельном кадастре;
- В градостроительстве;
- В природопользовании и других отраслях.

Возникли различные компании, которые поставляют космическую информацию на территории многих государств для создания топографических карт крупных и средних масштабов. На российском рынке такой компанией является «СОВЗОНД», на американском – Digital Globe. Эти компании занимаются распространением космических изображений с разрешением 0,61 м для чёрно-белого и 2,44 м для многозональных снимков, полученных со спутника QuickBird II.

Учитывая высокую разрешающую способность и информативность космических снимков, они находят применение при обновлении топографических карт. При этом наиболее эффективно с их помощью решается задача обновления контурной части карты, то есть когда изменениями в рельефе можно пренебречь. Рассмотрим технологию обновления цифровой карты масштаба 1:2000 по снимкам высокого разрешения, которую планируется использовать при производстве обновления цифровой карты на г. Новосибирск.

Цифровая карта масштаба 1:2000 на г. Новосибирск была создана в 2000 – 2002 гг. на кафедре инженерной геодезии СГГА. Цифровая карта создавалась путём сканирования планшетов масштаба 1 : 500, полученных геодезическими методами и последующей полуавтоматической дигитализацией.

Цифровая карта создана послойно и содержит следующие слои:

- Многоэтажные жилые и нежилые строения;
- Индивидуальные жилые строения;
- Гидрография;
- Растительность;
- Железнодорожные и трамвайные пути и сооружения при них;
- Объекты, здравоохранения, образования и спорта и др.

В соответствии с разработанной технологией предусматривается выполнить следующие основные процессы:

- Анализ характера изменений обновляемой карты по космическим изображениям;
- Сгущение опорной сети для трансформирования снимков и анализа точности космических снимков;

- Трансформирование космических снимков по опорным точкам, полученным по наземным геодезическим измерениям;
- Дешифрирование космических снимков при обновлении топографических карт масштаба 1 : 2000;
- Полевое обследование;
- Перенос изменений с космических снимков на электронную обзорную карту;
- Редактирование и оформление составительского оригинала.

Общая технологическая схема обновления цифровой карты по космическим снимкам высокого разрешения может быть представлена в следующем виде:



Для трансформирования космических снимков была развита сеть опорных пунктов на всю территорию, покрытую космической съемкой. Опорные пункты опознавались на цифровом изображении космических снимков, а их координаты определялись с помощью спутниковых приемников GPS в системе координат 1942 года. В качестве опорных точек были использованы хорошо опознаваемые на снимках контуры, на которых отсутствуют помехи для приема спутниковых сигналов. Средняя плотность таких пунктов должна быть не меньше 1-го пункта на 5 кв.км.

Космические снимки, полученные со спутника QuickBird II, поступают в формате файлов GeoTiff, содержащих информацию в картографической проекции (UTM, зона 44, WGS 84).

Исходные данные содержат следующие ошибки:

- За кривизну Земли;
- Ошибки сканирования;
- Ошибки определения элементов внутреннего ориентирования сканера.

Полученные данные содержат также информацию в отдельных файлах:

- О самом изображении (размер по пикселям);
- О дате съемки;
- RPB-file содержат информацию об элементах внутреннего и внешнего ориентирования для каждой строки формируемого изображения и параметрах орбиты в виде коэффициентов рациональных полиномов.

Изготовление цифровых планов по космическим снимкам производилось по следующим этапам:

1. Снимки обрабатывались с использованием файлов RCP с учетом искажений, вызванных ошибками внутреннего и внешнего ориентирования.

2. Привязка к местной системе координат осуществлялась по опорным точкам, координаты которых определялись с помощью GPS – технологий. На каждый снимок приходилось в среднем по 20 – 30 точек. Для привязки космических снимков к местной системе координат использовался аппроксимирующий полином 2-й степени. Геопривязка выполнялась с использованием пакета ERDAS Imagine методом билинейной интерполяции.

3. Затем выполнялось трансформирование снимков в местную систему координат и монтаж трансформированных снимков в единый фотоплан на весь г.Новосибирск. В связи с тем, что снимки получены по различным маршрутам съемки, то соответственно яркость по каждому маршруту различна, в связи, с чем необходимо проводить яркостную коррекцию.

Яркостная коррекция выполняется с использованием функции выравнивания гистограмм – Histogram Matching в автоматическом или ручном режиме.

4. Для формирования общего файла изображения г. Новосибирска использовался инструмент ERDAS Imagine – Mosaic Tool, линия сшивки задавалась вручную по изображениям в области перекрытия соседних маршрутов.

Согласно разработанной технологии предусматривается выполнить полевое дешифрирование всех изменений на местности, установленных по космическим снимкам. Для этого выполняется деление всей обновляемой

территории на фрагменты (кварталы) размером 0,5 – 1,5 км² с последующей распечаткой космического изображения с наложенным векторным изображением цифровой карты в масштабе близком к масштабу 1 : 2 000 для полевого дешифрирования.

Далее производится камеральное дешифрирование всех изменений, несоответствий и разночтений ситуации на цифровой карте и на космическом снимке.

Перед началом работ по камеральному дешифрированию выполняются подготовительные работы, которые включают в себя следующее:

- Изучение редакционных указаний;
- Анализ имеющихся картографических материалов на район работ;
- Нанесение границ рабочих площадей на печатную копию космических снимков.

При изучении редакционных указаний каждый исполнитель должен четко уяснить поставленную перед ним задачу и получить необходимые сведения об особенностях отображения объектов местности, о видах объектов, подлежащих дешифрированию, последовательность дешифрирования.

В результате изучения и анализа картографических материалов определяется возможность его использования.

Рабочие площади наносятся на печатные копии фрагментов космических снимков с таким расчетом, чтобы между ними не возникали перекрытия или разрывы. Границы рабочих площадей вычерчиваются на фрагментах красной гелиевой ручкой.

Камеральное дешифрирование выполняется путем сличения обновляемой цифровой карты с космическим снимком и другими имеющимися материалами. Вычерчиваются только изменившиеся и вновь появившиеся объекты местности. Вычерчивание выполняется упрощенными условными знаками в цветах, обеспечивающих читаемость отдешифрированных объектов. При невозможности опознать отдельные элементы содержания обновляемой карты намечаются места, где требуется полевое дешифрирование. Полевому обследованию подвергаются все сомнительные участки. Обновление производится на распечатках фрагментов, совмещенных панхроматических изображений космических снимков и цифровой карты. При обновлении на распечатку наносятся все вновь появившиеся объекты, а исчезнувшие зачеркиваются.

Дешифрированию и вычерчиванию на распечатках подлежат:

- Жилые многоэтажные и нежилые строения;
- Линии электропередач свыше 35 кВт и сооружения при них;
- Гидрография;
- Различные типы растительности (лесоустроительные задачи);
- Трамвайные пути.

Результаты полевого дешифрирования также вычерчиваются в туши, в цветах и передаются для исправления обновляемой карты.

Исправление цифровой карты производится в программном продукте ERDAS Imagine. В связи с тем, что общая схема на г. Новосибирск получена

общим файлом в ERDAS Imagine размером – 11,3 Гб и представляет собой единое изображение, для передачи в другой программный продукт его необходимо делить на отдельные фрагменты и проводить привязку в MapInfo, что вносит определенную ошибку в определение координат. Кроме того, передача данных ERDAS Imagine в формат TIFF вносит искажения в растровое изображение, полученное в специальном формате GeoTIFF.

В ERDAS Imagine существует полный набор необходимых для векторизации инструментов, исправления ошибок и удаления ненужных линий:

- Векторизация линейных и площадных объектов;
- Корректировка полученных линий; перемещение, добавление и удаление узлов;
- Удаление объектов недоведений и пересечений;
- Использование топологических характеристик объектов;
- Топологическая чистка пересечений линий и прочее;
- Сглаживание линий и кривых.

С целью получения прямоугольных контуров (зданий) существует возможность импортирование в AutoCAD в формат DXF.

Полученную информацию можно импортировать в MapInfo, причем после построения топологических отношений контура замкнутых объектов представляют собой целые области – замкнутые полигоны.

Кроме того, существует возможность импортирования в ArcView из формата ArcCoverage в Shapefile. В ArcView возможно создание композиции карты, с легендой и подписями – оформление итоговой цифровой карты.

Редакционные работы обновления цифровой карты масштаба 1: 2 000 должны обеспечить полноту и достоверность содержания обновленной карты. Редакционные работы осуществляются на всех этапах обновления. В состав редакционных работ входят:

- Изучение территории съемки по космическим снимкам, существующим крупномасштабным съемкам масштаба 1 : 500, 1 : 2000 и другим картографическим материалам;
- Составление редакционных указаний по камеральному дешифрированию и полевому обследованию при выполнении работ;
- Обеспечение эффективного использования материалов космической съемки в многозональном диапазоне для дешифрирования растительности и загрязнения почв, вод и атмосферы;
- Редактирование обновленных карт и планов.

Редактирование законченных составительских оригиналов должно проводиться детально по всем элементам содержания карты. В процессе редактирования обновленных оригиналов карт указываются изображения протяженных объектов (гидрографическая сеть, автомобильные и железные дороги и т. д.).

Содержание и качество обновленных цифровых планов в ходе редакционных работ проверяется по следующим показателям:

- Полнота информации;

- Точность положения контуров в плане;
- Правильность дешифрирования космических изображений;
- Логическая согласованность структуры и представления объектов;
- Согласование информации.

© А.П. Гук, В.В. Прудников, А.В. Павленко, 2005

УДК 528.7

Ю.И. Кузнецов, Р.А. Попов

СГГА, Новосибирск

ПОСТРОЕНИЕ СФЕРИЧЕСКОГО БАЗИСА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Положительный октант сферы разбивается на элементарные площадки. Их координаты интерпретируются как осредненные значения элементарных площадок ландшафта. Построены алгоритмы преобразования фрагментов сферической базы в ландшафт и обратно.

Сферическая база. Алгоритм S-кодировки

Обозначения

L_1, K_1 – число пикселей по столбцу и по строке изображения F ;

$2m$ – число строк и столбцов в элементарном квадрате;

$$n_1 = \frac{L_1}{2m}, \quad n_k = \frac{K_1}{2m};$$

$$L = 2mn_l, \quad K = 2mn_k$$

Размер изображения F уменьшен, чтобы разбить его на целое число квадратов размера $2m \times 2m$. Число таких квадратов (площадок) равно

$$M = n_l \times n_k$$

Элементы исходного (уменьшенного) изображения обозначим

$$F(i_1, j_1), i_1 = 1(1)2m \times n_l + i, j_1 = 1(1)2m \times n_k + j,$$

и разобьем его на площадки $R_{IJ}, I = 1(1)n_l, J = 1(1)n_k$, с элементами $R_{IJ}(i, j), i = 1(1)2m, j = 1(1)2m$. Выборка площадки из исходного изображения осуществляется следующим образом:

$$R_{IJ}(i, j) = F(2m \times (I - 1) + i, 2m \times (J - 1) + j). \quad (1)$$

Нормировка площадки

Произведем центрирование

Цикл (ij)

$$U_{IJ} = \frac{1}{4m^2} \sum_{i, j=1}^{2m} R_{IJ}(i, j),$$

конец цикла (ij).

Цикл (ij)

$$R_{IJ}(i, j) = R_{IJ}(i, j) - u_{IJ}(i, j)$$

Конец цикла (ij)

и нормирование

цикл (ij)

$$M_{IJ} = \left(\frac{1}{4m^2} \sum_{i,j=1}^{2m} R_{IJ}^2(i,j) \right)^{\frac{1}{2}}$$

конец цикла (ij).

Цикл (ij)

$$R_{IJ}(i,j) = R_{IJ}(i,j) / M_{IJ}$$

Конец цикла (ij)

Таким образом,

$$\sum_{i,j=1}^{2m} R_{IJ}^2(i,j) = 1, \quad (2)$$

$$\sum_{i,j=1}^{2m} R_{IJ}(i,j) = 0. \quad (3)$$

Нормировка квадрантов

Разобьем площадку на 4 квадранта:

$$A_1 = (i = 1(1)m, j = 1(1)m,$$

$$A_2 = (i = 1(1)m, j = m + 1(1)2m,$$

$$A_3 = (i = m + 1(1)2m, j = 1(1)m,$$

$$A_4 = (i = m + 1(1)2m, j = m + 1(1)2m,$$

и вычислим среднее по квадрантам:

$$f_k = \frac{1}{m^2} \sum_{A_k} R_{IJ}(i,j), \quad k = 1(1)4.$$

В силу (2)

$$f_1 + f_2 + f_3 + f_4 = 0 \quad (4)$$

Отнормируем f_k

$$f_k = \frac{f_k}{\bar{f}},$$

$$\text{где } \bar{f}^2 = f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2$$

так что

$$f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 = 1 \quad (5)$$

Представим площадку R_{IJ} ее средними значениями $f = (f_1, f_2, f_3, f_4)^T$ и разместим их в квадрантах следующим образом

$$f_2 \quad f_3$$

$$f_1 \quad f_4$$

Соотношения (4), (5) запишем в векторном виде:

$$f^T f = 1, f^T e = 0.$$

Преобразование кодировки

Введем ортогональное преобразование

$$Q = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad Q^T Q = 1$$

и преобразуем вектор f с сохранением нормы:

$$g = Qf, \quad (6)$$

$g = (g_1, g_2, g_3, g_4)^T$. Преобразование (6) имеет компонентное выражение:

$$\begin{aligned} g_1 &= (f_1 - f_2 + f_3 - f_4)/2, \\ g_2 &= (f_1 - f_2 - f_3 + f_4)/2, \\ g_3 &= (f_1 + f_2 - f_3 - f_4)/2, \\ g_4 &= (f_1 + f_2 + f_3 + f_4)/2. \end{aligned} \quad (7)$$

В силу центрирования (4) имеем $g_4=0$. Тройка чисел (g_1, g_2, g_3) определяет точку на сфере единичного радиуса с центром в начале координат, так что

$$g_1^2 + g_2^2 + g_3^2 = 1.$$

Область определения (g_1, g_2, g_3) можно сузить. Для этого площадку f приведем в стандартное положение с помощью поворотов на 90 градусов или зеркальных отражений относительно 4-х осей симметрии квадрата.

Стандартным преобразованием будем называть такое (из перечисленных), при котором

$$g_1 \geq 0, \quad g_2 \geq 0, \quad g_1 \geq 0, \quad g_2 \geq g_3, \quad (8)$$

Если соотношения (8) не могут быть достигнуты, то следует изменить знак в векторе f .

Опишем подробно преобразования с квадратом. Его поворот на 90 градусов осуществляется матрицей

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

При этом

$$g^{(1)} = g = Qf, \quad g^{(2)} = QPf, \quad g^{(3)} = QP^2f, \quad g^{(4)} = QP^3f.$$

Зеркальные отражения квадрата задаются матрицами

$$P_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad P_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad P_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad P_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

С их помощью находим

$$g^{(5)} = g = QP_1f, \quad g^{(6)} = QP_2f, \quad g^{(7)} = QP_3f, \quad g^{(8)} = QP_4f.$$

Производя указанные выкладки, найдем (изменяя, если надо знак f) нужное стандартное преобразование $g^{(m)}$, обеспечивающее условие (8):

$$g^{(1)} = (g_1, g_2, g_3), g^{(2)} = (-g_1, -g_3, g_2),$$

$$g^{(3)} = (g_1, -g_2, -g_3), g^{(4)} = (-g_1, g_3, -g_2),$$

$$g^{(5)} = (-g_1, -g_2, g_3), g^{(6)} = (-g_1, g_2, -g_3),$$

$$g^{(7)} = (g_1, -g_3, -g_2), g^{(8)} = (g_1, g_3, g_2),$$

Как видим, необходимо провести анализ знаков в тройке (g_1, g_2, g_3) и выбрать нужную ситуацию с соответствующим номером.

Выбор преобразования

Эта задача не является простой. Возможен следующий вариант анализа, предусматривающий введение целочисленного массива

$$LO = \begin{pmatrix} +1 & +1 & +1 & 1 & 8 \\ -1 & -1 & +1 & 5 & 4 \\ -1 & +1 & -1 & 6 & 2 \\ +1 & -1 & -1 & 3 & 7 \end{pmatrix}$$

Первые три столбца содержат знаки возможных значений (g_1, g_2, g_3) . Два последних столбца один из двух номеров, которым эти знаки могут принадлежать. Отметим, что в четвертом столбце стоит номер того преобразования того преобразования, у которого модуль второго элемента тройки больше третьего. Если знаки (g_1, g_2, g_3) имеют другую комбинацию, следует изменить знак f и повторить анализ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ваганова Н.А. Построение и оптимизация фрактальных баз для сжатия изображений – Диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. РАН сибирское отделение институт вычислительной математики и математической геофизики, Новосибирск, 2002.
2. Агапитова Н.С. Фрактальная база данных на сфере. – Сборник научных трудов аспирантов и молодых ученых. СГГА выпуск 1., 2003.

© Ю.И. Кузнецов, Р.А. Попов, 2005

ОПЕРАТИВНЫЙ СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПРИЕМНОЙ СТАНЦИИ УНИСКАН™

В последние годы в мире интенсивно развивается направление, связанное с практическим применением данных оперативного спутникового мониторинга. Существенной проблемой в организации центров приема данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) стало различие в форматах принимаемых данных (из-за многообразия космических программ ДЗЗ), что приводит к усложнению средств и процессов обработки и к удорожанию информационных продуктов. Реальным выходом из создавшейся ситуации является использование универсальных наземных станций, программно-адаптированных для приема цифровых потоков данных ДЗЗ от различных космических аппаратов. Универсальный терминал УниСкан™, созданный в ИТЦ СканЭкс, уже сегодня позволяет осуществлять прием данных от 10 существующих спутников ДЗЗ со скоростью в одном канале до 120 Мбит/с.

Выбранные в настоящее время спутниковые программы ДЗЗ для приема станцией УниСкан™ позволяют решать широкий круг прикладных задач оперативного мониторинга:

- Данные программы TERRA/AQUA (радиометр MODIS), принимаемые в реальном времени в режиме свободного доступа (ежедневно 4-6 сеансов) позволяют осуществлять оперативный спутниковый мониторинг с низким разрешением (0.25-1 км) в целях обнаружения пожаров, наблюдения за состоянием водной поверхности, растительного и снежного покрова;

- Данные всепогодной радиолокационной съемки RADARSAT-1 с разрешением 8-100 м (принимаются на платной основе по предварительному заказу) используются для мониторинга состояния ледового покрова, лесной растительности, в картографии, при мониторинге районов затоплений и зон ЧС;

- Данные высокодетальной съемки EROS-A с разрешением 2 м (принимаются на платной основе по предварительному заказу) позволяют решать задачи обновления основы крупномасштабных карт, создания ГИС-слоев в строительстве, мониторинг районов городской застройки и землеотвода;

- Данные съемки спутников IRS-1C/-1D/-P6 с multifunctionalными сканерами (разрешение 5.8 м, 23 м и 56 м) и SPOT-2/4 (разрешение 10 и 20м) для решения различных задач сельского и лесного хозяйства, геологии, картографии.

Основные характеристики аппаратуры спутников ДЗЗ, принимаемых станциями УниСкан™

Прибор	Спутник	Число спектр. каналов (диапазон)	Разрешение на местности, м	Полоса обзора, км	Скорость передачи, Мбит/с
MODIS	Terra Aqua	36	250, 500, 1000	2300	13.125 15.0
MCY-Э	Метеор-3М	3	40	76	15.36
PAN	IRS-1C/1D 1	1	5.8	70	84.9
PAN	EROS A	1	2.0	13.5	70
LISS-3	IRS-1C/1D	3	23	140	42.45
LISS-3	IRS-P6	4	23	140	105
AWiFS	IRS-P6	4	55	740	
LISS-4 Mono	IRS-P6	1	5.8	70	105
LISS-4 MX		3	5.8	23	
PCA SAR	Radarsat-1	(С-диапазон)	8 ... 100	50 ... 500	105
HRVIR и HRV	SPOT-2, -4	4 и 5	10 и 20	60 и 80	50

Основные характеристики комплекса УниСкан™

Универсальная аппаратная часть комплекса УниСкан™ позволяет принимать информацию в любых форматах, параметры которых лежат в следующих пределах:

Параметр	Диапазон значений
Несущая частота	8.0 ... 8.4 ГГц
Скорость передачи информации	5 ... 120 Мбит/с
Тип модуляции	ФМ-2, ФМ-4, ФМ-4С

Для адаптации приемной станции к новому спутнику и формату не потребуется никаких аппаратных модификаций – только дополнительное программное обеспечение при условии, что:

- Параметры формата лежат в указанных пределах;
- Мощность излучения со спутника достаточна для приема на данную антенную систему.

В указанном диапазоне параметров передают (или будут передавать) информацию такие спутники, помимо указанных выше, как Монитор-Э, IRS-P5, RADARSAT-2, EROS-B, Envisat-1, TerraSAR-X и др.

Станция УниСкан™ может поставляться в двух вариантах исполнения:

- С сетчатой антенной диаметром 3.6 м на 3-осном опорно-поворотном устройстве,
- Со сплошной антенной диаметром 2.4 м на 2-осном опорно-поворотном устройстве с горизонтальными осями вращения ("X-Y").

Разработан также мобильный вариант на базе станций УниСкан™, который приводится в рабочее положение в течение нескольких часов.

Характеристики станций УниСкан™

Характеристики	УниСкан™-36	УниСкан™-24
Тип антенны	однозеркальная, осесимметричная, секционная, сетчатая	однозеркальная, осесимметричная, секционная, сплошная
Тип опорно-поворотного устройства	3-осное (X-Y-Z)	2-осное (X-Y)
Диаметр зеркала антенны, м	3.6	2.4
Усиление антенны, дБ	45.5	44
Поляризация	Правая круговая	
Диапазон рабочих частот, МГц	8 000 ... 8 400	
Шумовая температура МШПР, ° К	65	
Добротность G/T (8.2 GHz, 5 град. угол места), дБ/К	23	21.5
Диапазон вращения по азимуту (Z), град.	- 270 ... 270	----
Диапазон вращения по наклону (Y), град.	- 20 ... 20	-90 ... 90
Диапазон вращения по углу места (X), град.	0 ... 180	0 ... 180
Максимальная скорость вращения по азимуту (не менее), град./с	2	----
Максимальная скорость вращения по углу места и наклону (не менее), град./с	2	2
Динамическая ошибка сопровождения (не более), угл. мин.	4	4
Масса антенной системы (не более), кг	1000	400
Диапазон рабочих температур антенной системы, ° С	- 50 ... +50	
Скорость ветра, м/с	20	
Первичное питание	220 В, 50,60 Гц, однофазовое	
Максимальное энергопотребление, ВА	1000	600

Обе конфигурации системы гарантируют прием без «мертвой» зоны в зените. Антенная система станции УниСкан™-24 легче и дешевле, чем УниСкан™-36 (рис. 1), но последняя обеспечивает устойчивый прием с меньших углов места (т.е. имеет больший радиус зоны приема).



Антенная система комплекса
УниСкан™-36



Антенная система комплекса
УниСкан™-24

Рис. 1. Антенные системы комплексов УниСкан™-36 и УниСкан™-24

В составе комплекса поставляется программное обеспечение для решения следующих задач:

- Управление приемом и записью данных на жесткий диск компьютера (ScanReceiver®);
- Предварительная обработка данных – распаковка, фрагментация, географическая привязка и калибровка;
- Визуализация и трансформация изображений (ScanMagic®, одна лицензия);
- Ведение электронного каталога снимков (ScanEx Catalogue Manager®),
- Дополнительная и тематическая обработка изображений (ScanEx Image Processor®, одна лицензия).

Все программы предназначены для работы под MS Windows 98, 2000, XP. В зависимости от вида принимаемых данных пользователи могут применять дополнительные программы. Например, для обработки радиолокационных изображений в ИТЦ СканЭкс разработана программа ScanEx SAR Processor®, которая работает в среде Windows и предназначена для преобразования данных начального уровня в продукты уровня 1. В 2004 году программа была сертифицирована компанией RSI и космическим агентством Канады CSA для обработки изображений RADARSAT-1.

Основные области применения данных

Данные различного пространственного разрешения вплоть до нескольких метров, широкого диапазона повторяемости съемки и полосы обзора, а также возможность проведения радиолокационной съемки при любых погодных условиях и в любое время суток позволяют решать максимальный набор практических задач в разных областях хозяйственной деятельности:

- Обновление картографической продукции (вплоть до масштаба 1:25 000);
- Оперативное обнаружение нефтяных загрязнений на суше и на шельфе в районах добычи и транспортировки нефти;
- Контроль за соблюдением лицензионных соглашений при освоении месторождений природных ресурсов;
- Оперативная оценка состояния ледового и снежного покрова;
- Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий как с точки зрения соблюдения правил севооборота, так и с точки зрения целевого использования земель;
- Оперативная оценка состояния и степени деградации сельскохозяйственных и пастбищных земель;
- Земельный кадастр;
- Актуализация карт лесопользования;
- Раннее обнаружение и наблюдение за развитием лесных и степных пожаров;
- Объективная и оперативная оценка ущерба от стихийных бедствий;
- Мониторинг состояния гидротехнических сооружений;

- Создание современных тематических карт состояния природных объектов (растительности, состояния почвенного покрова, аварийноопасности территорий и др.);
- Создание цифровых моделей рельефа;
- Оценка экологических последствий освоения территорий;
- В горных районах – организация постоянного мониторинга за состоянием ледников;
- Контроль за нелегальным рыболовством в акваториях.

Всего центр СканЭкс установил 16 станций УниСкан™ в различной комплектации, которые служат основой региональных и университетских центров ДЗЗ в России и за рубежом (рис. 2). Развитие сети приемных станций будет способствовать более глубокой интеграции данных оперативного спутникового мониторинга в повседневную производственную, управленческую и природоохранную деятельность.



Рис. 2. Сеть станций УниСкан™ в России и за рубежом

© О.Н.Гершензон, А.А.Маслов, 2005

О СОЗДАНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ

Одной из первоочередных и глобальных задач современности, внимание к которой постоянно возрастает, является рациональное и экологически безопасное использование человеком природных ресурсов, в том числе геологических. Контроль за течением геологических процессов, прогноз их развития, осуществление профилактических и защитных мероприятий приобрели в настоящее время характер актуальнейших задач государственного масштаба. Решение этих задач невозможно без наличия разномасштабных, долговременных и целенаправленных наблюдений за объектами геологической среды, лишь на основе которых и могут быть установлены тенденции развития различных геологических процессов (как природных, так и антропогенных или техногенных), вскрыт механизм и разработаны рекомендации по их управлению. Именно решению этих задач и служит мониторинг геологической среды.

Среди дистанционных методов наблюдений в системе мониторинга геологической среды используются две основные группы способов: аэрокосмогеологические и геофизические.

Основными видами дистанционных аэрокосмических методов исследований геологической среды, которые могут с успехом использоваться в системах мониторинга, являются фотосъемка (ФС), космическая съемка (КС), телевизионная (ТС), инфракрасная (ИКС), радиотепловая (РТС), радиолокационная радарная (РЛС) и многозональная съемка (МС). Практически все эти методы полезны при оценке техногенных изменений геологической среды, поиске ареалов загрязнений, оценке динамики техногенных изменений геологической среды и т.д.

Среди дистанционных, в системе мониторинга геологической среды, чаще всего используются методы аэрокосмического дешифрирования (ФС и КС). При этом, в зависимости от масштаба съемки, могут применяться снимки различного масштаба. Так, для крупномасштабной геоэкологической съемки - крупномасштабные аэрофотоснимки масштаба 1:1 000 - 1:5 000, позволяющие наиболее детально исследовать техногенные изменения различных элементов геологической среды и других природных компонентов. Снимки более мелкого масштаба (1:10 000 - 1:25 000) полезны при оценке техногенных изменений ландшафтов, загрязнений литосферы и других преобразований геологической среды, проявляющихся и захватывающих значительные площади.

Космические снимки (КС) и (МС), как уникальный источник многообразной новейшей информации, призваны сыграть в экологическом картографировании столь же важную роль, какую они играют в исследованиях Земли и ее ресурсов. При этом комплексный характер геоэкологических проблем требует тесного взаимодействия космических методов с другими. Космическая информация в равной степени полезна при анализе природных и антропогенных факторов

экологической обстановки, влияющих непосредственно, или оказывающих косвенное воздействие. При этом роль сравнительно мелкомасштабной и генерализованной космической информации возрастает при переходе от изучения параметров и элементов среды к ее компонентам и природно-территориальным комплексам (ПТК). Дешифрирование фотоснимков даже в зоне интенсивного техногенного освоения позволяет: определить контуры и площади проявления всех геологических процессов, если они в той или иной мере выражены в рельефе; получить основные морфометрические характеристики поверхности; установить условия и факторы, вызывающие возникновение различных процессов и контролирующих их развитие; оценить ущерб наносимый, тем или иным процессом, природной среде и инженерным сооружениям.

В настоящее время среди дистанционных методов, успешно применяемых при мониторинге природной среды, в том числе геологической, является многозональная аэрофотосъемка (АФС). Снимки выполняются в различных диапазонах спектра и в итоге получают своеобразный “ спектральный образ” того, или иного объекта геологической среды (почв, поверхностных грунтов, асфальтовых покрытий, инженерных сооружений, водной поверхности и др.). Дешифрирование АФС или АКФС, которое в настоящее время автоматизировано, и последующий их анализ позволяют в конечном итоге получить большую информацию о состоянии и изменении геологической среды.

Техногенные и природные воздействия нарушают равновесие геологической среды, что приводит к заболачиванию территорий, просадке грунта, оползням, провалам, возбужденной сейсмичности и другим неблагоприятным экологическим последствиям. Они, в свою очередь, обуславливают деформации различных наземных инженерных объектов и могут вызвать аварии и катастрофы.

Кроме того, в последние годы, наукой были получены принципиально новые данные о современном геодинамическом состоянии земных недр. Оказалось, что имеют место современные суперинтенсивные деформации (СД) земной поверхности со скоростями до 50-70 мм/год, которые приурочены к зонам тектонических нарушений (разломам различного типа и порядка). При этом, наиболее неожиданный результат заключается в том, что наибольшая интенсивность геодинамических аномалий наблюдается в платформенных асейсмичных областях.

Проводимые, по заказам Миннефтепрома, изучения современных движений земной коры в нефтегазоносных осадочных бассейнах Русской платформы (Припятский прогиб, Башкирский свод и Соликамская впадина), Западно-Сибирской плиты (Вартовский свод), предгорных и межгорных прогибов складчатых областей (Терско-Каспийский, Предгиссарский, Рионо-Куринский) позволили ученым вывести ряд эмпирических обобщений, касающихся интенсивности и масштабов современного аномального геодинамического состояния земных недр:

1. Выявлено наличие интенсивных локальных аномалий вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности, которые приурочены к зонам тектонических нарушений (разломов, разрывов и т.д.) различного типа и порядка. Эти аномальные движения высокоградиентны (свыше 50мм/год), короткопериодичны (от 0.1 года до первых лет), пространственно локализованы (от 0.1 км до первых км) и обладают пульсационной и знакопеременной направленностью.

2. Основные пространственно-временные характеристики аномальных движений идентичны как для сейсмоактивных, так и для асейсмичных разломных зон, при этом интенсивность деформационного процесса в разломах асейсмичных, платформенных регионов выше, чем в сейсмоактивных (1).

Существование всех перечисленных неблагоприятных факторов вызывает необходимость выполнения постоянных, детальных наблюдений (мониторинг) за состоянием окружающей природной среды и недр.

Работу целесообразно начинать с выбора полигона, где активно проявляются геоэкологические последствия и связанные с ними деформационные процессы, а также имеются достаточно полные количественные данные об этом. Необходимо выполнить сбор, систематизацию и первичный анализ имеющейся пространственно-временной информации об изменениях факторов внешней среды, гидрогеологических, инженерно-геологических и других условий, о развитии деформаций, возникновении аварий и катастроф. На основе проведенного анализа необходимо оценить достаточность и точность имеющихся результатов комплексных натурных наблюдений, разработать общие методологические принципы и конкретные методики получения репрезентативных комплексных данных и реализовать их в последующих наблюдениях.

Проблемы повышения надежности и долговечности инженерных объектов, предотвращения аварий и катастроф всегда актуальны. Решение их требует высококачественного топографо-геодезического обеспечения, осуществляемого преимущественно автоматизированными, бесконтактными, неразрушающими методами с использованием оптимальной фильтрации, моделирования, анализа, интерпретации и прогнозирования. Инструментарием для эффективного использования результатов комплексных натурных наблюдений за изучаемыми процессами должны служить компьютерные геоинформационные системы (ГИС), создаваемые на крупномасштабной топографо-геодезической основе.

В отечественной и зарубежной практике нет достаточного опыта создания крупномасштабных ГИС, имеющих базы данных результатов наблюдений за сложным пространственно-временным взаимодействием инженерных объектов с геологической и внешней средой, а также соответствующие подсистемы управления, математической обработки и моделирования. Создание таких ГИС обусловлено необходимостью своевременного предупреждения возможных аварий и катастроф, оптимизации сроков выполнения регламентных и ремонтных работ, в том числе программ комплексных натурных наблюдений. При этом эффективность ГИС повысится, если подсистемы математического моделирования будут дополнены программными средствами для прочностных

расчетов несущих конструкций инженерных объектов по прогнозным оценкам ожидаемых деформаций. Математическое моделирование дает возможность определять количественные закономерности развития деформаций однотипных инженерных объектов, возводимых и эксплуатируемых в одинаковых геологических и внешних условиях. Знание общих закономерностей значительно повысит эффективность проектирования, строительства и эксплуатации инженерных объектов. Таким образом, предлагая исследовать в единой системе воздействующие факторы, геологическую среду и инженерные объекты, выдвигается идея рассмотрения деформационных процессов в экологическом аспекте. С учетом требований к точности инженерных решений возникает необходимость создания крупномасштабных элементов ГИС экологического кадастра и мониторинга природной среды, включающих и инженерные объекты.

Следующий этап создания ГИС заключается в разработке методов и программных средств для совместного межциклового уравнивания мобильных плановых и высотных геодезических сетей и идентификации математических моделей интерпретации. При этом необходимо использовать аппарат оптимальной фильтрации для повышения точности определения деформаций, оценки адекватности и точности моделей. В ходе построения динамических моделей изучаемых процессов и явлений, по возможности, должна быть проведена аналогичная математическая обработка других видов комплексных натурных наблюдений. Завершающая часть данного этапа - переход к кинематическим и динамическим моделям прогноза каждой наблюдаемой реализации изучаемого деформационного процесса и оценка их точности.

На завершающем этапе решения научно - методических задач необходимо разработать конфигурацию технических средств и структуру взаимодействия подсистем программно - технического комплекса ГИС. Очевидно, что разработка должна выполняться, исходя из имеющихся технико-экономических возможностей, но с обязательным учетом результатов решения предыдущих задач. Создание ГИС геоэкологического и деформационного мониторинга представляет собой проблему, решить которую можно только с участием специалистов разного профиля. Однако при этом будут преобладать геодезические методы математической обработки и моделирования. Следовательно, научно - техническая роль специалистов топографо - геодезического профиля в создании ГИС будет ведущей.

Наряду с традиционными геодезическими методами необходимо особо отметить возрастающие возможности использования высокоточной гравиметрии. В комплексе с другими методами исследований гравиметрия дает возможность решать задачи экологической направленности. Это - выявление разломов, карстовых пустот, оползней, трещин отрыва, регистрация изменений режимов фильтрации подземных вод, классификация геологических структур. На основе результатов высокоточных гравиметрических измерений можно выделять малоамплитудные локальные аномалии силы тяжести и определять динамику их изменений, что позволяет получать детальные плотностные

характеристики оснований инженерных объектов и оценивать последствия техногенных воздействий на них.

Все это особенно актуально для ОАО “Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз” при промышленной разработке Спорышевского месторождения, так как техногенная нагрузка территории месторождения уже сегодня достаточно перенасыщена. По большой оси месторождения проходит железная дорога Сургут - Уренгой, восточную часть месторождения пересекают три нитки магистрального газопровода Уренгой-Челябинск диаметром 1420 мм, 2 нитки конденсатопровода Уренгой - Сургут диаметром 820 мм, с запада на восток через месторождение проложен продуктопровод Ноябрьский ГПЗ - Мегионский ГПЗ, в северо-западной части проходит нефтепровод Вынгаяха - Холмогорская НПС, с запада проходит автомобильная дорога г. Ноябрьск - Западно-Ноябрьское месторождение. В месте пересечения железной дороги и магистрального продуктопровода происходит еще и пересечение двух предполагаемых динамически-напряженных зон предположительно сопоставимых с тектоническими разломами в осадочном чехле. На материалах космической съемки в контуре месторождения дешифрируются шесть отдельных самостоятельных блоков, которые секутся уже существующими и проектируемыми инженерными сооружениями.

В местах пересечений инженерных коммуникаций с предполагаемыми разломами за последние два года начали наблюдаться интенсивные порывы трубопроводов, так из 24 аварийных отказов нефтепроводов так или иначе 21 случай приурочен к выделенным динамически-напряженным зонам. В районе кустов 7 и 8 уже зафиксировано 7 порывов, причем 6 из них произошли в 2004г. В 2005 году уже произошло несколько порывов в районе разведочной скважины №654 и на напорном нефтепроводе до пересечения с железной дорогой. Места аварий, имеющих значительные экологические последствия, сопряжены с предполагаемыми зонами разломов.

По нашему мнению, для получения более расширенного спектра данных по проводимым работам, целесообразно было бы провести цикл геохимических исследований на предмет наличия в предполагаемых местах динамически-напряженных зон (ДНЗ) повышенной концентрации инертных газов, повышающих коррозионное воздействие на трубопроводы.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные сейсмических исследований, геологоразведочного бурения и дешифрирования космических снимков свидетельствуют о сложном геологическом строении месторождения. Предполагается наличие субвертикального экранирования, при этом возможны литологические (пласты ПК 19, АС 4) и тектонические экраны (пласт БС 10). Возникновение последних обусловлено напряженно-деформированным состоянием осадочного чехла.

Угроза экологической безопасности данной территории усугубляется, кроме вышеперечисленных факторов, еще и тем, что Спорышевское месторождение расположено в непосредственной близости от городской застройки Ноябрьска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Н.А. Касьянова, Ю.О. Кузьмин “Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса”. АЗОТ “Геоинформмарк”. М. 1996г.
2. Ю.А. Кашников и др. “ О создании геодинамических полигонов при разработке нефтяных месторождений”. Маркшейдерский вестник N 4 - 1997г.
3. Ю.О. Кузьмин “ Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов”. ”Геологическое изучение и использование недр”. Инф. сборник, вып.4. М.1996г.

© М.Д. Козориз, А.Л. Макачук, 2005

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОВИДЕОСЪЕМКИ

В Сибирском РКЦ «Земля» разработана и опробована методика создания ортофотопланов по материалам аэровидеосъемки. Ее преимущество в том, что можно получать аэроснимки местности без использования дорогостоящего оборудования и авиатехники. В качестве носителя съемочного оборудования (видеокамеры) могут использоваться легкие самолеты и беспилотные летательные аппараты.

В настоящее время съемка проводится с самолетов, с использованием цифровых видеокамер. Причем для большего охвата территории при съемке видеокамера не зафиксирована, а совершает колебательные движения перпендикулярно направлению полета с амплитудой 60 градусов. Это позволяет значительно увеличить площадь съемки за один пролет.

Использование видеосъемки имеет ряд особенностей. Видеокадры имеют низкую разрешающую способность. Для получения необходимой детальности снимков приходится увеличивать изображение в 4-6 раз, что приводит к значительному увеличению числа изображений участвующих в обработке. В этой связи повышается роль накидного монтажа в обработке материалов, который представляет набор снимков на плоскости, приблизительно ориентированных относительно друг друга.

Накидной монтаж используется для оценки качества съемки и выявления брака, создание проекта привязки, а также для проектирования блоков триангуляции.

Создание накидного монтажа происходит в автоматическом режиме с использованием программы «АСИ». В этой программе, ориентирование двух снимков происходит путем перебора возможных положений относительно друг друга, с определением коэффициента подобия, который вычисляется по разностям яркостей соответствующих точек по всей области перекрытия снимков по формуле $k = \sum |p_1 - p_2|$.

Одной из основных задач становится оптимальное проектирование блоков триангуляции с заданной точностью. При обработке видеосъемки обрабатывается большое количество снимков. Возникает несколько вариантов построения блока, связующих маршрутов и схем расположения опорных точек. Из множества вариантов необходимо выбрать такой, который обеспечивает необходимую точность в наиболее слабом месте сети. Пример блока триангуляции построенного по материалам представлен на рис. 1.

Одним из вариантов решения являются априорные расчеты по упрощенным формулам. Нами были проведены исследования известных формул Ильинского Н.Д., Лобанова А.Н., Овсянникова Р.П. [1, 3]. Наиболее близкие результаты к требованиям инструкции дают формулы профессора Н. Д.

Ильинского. По параметрам аэровидеосъемок, была выполнена оценка точности построения плановой фототриангуляции с использованием формул Н. Д. Ильинского. Исследования показали, что формулы приемлемые для аэросъемки, не пригодны для оценки точности фототриангуляции, построенной по материалам видеосъемки. Они не учитывают алгоритмических особенностей обработки материалов видеосъемки.

Для оценки точности блоков триангуляции предлагается применить метод математического моделирования. Предлагается построить два блока триангуляции: один «чистый макет» без внесения ошибок измерения и идентификации точек и второй макет, в котором имитируются реальные измерения с внесением ошибок. За исходные данные принимаются схема взаимного положения снимков (накидной монтаж), известные параметры съемки и конфигурацию блока. Кроме того, в макетировании может использоваться модель рельефа.

На первом этапе построения модели определяются параметры внешнего ориентирования каждого снимка блока триангуляции. Известна приближенная высота съемки и амплитуда колебания видеокамеры. Фокусное расстояние может быть известно при съемке, либо может быть рассчитано по имеющимся опорным точкам или старым плановым материалам. Положение камеры считается в условной системе координат, где ось X будет совпадать с направлением полета, за начало отсчета на ней принимается положение первого кадра. Тогда координаты точки S снимка равны $(x, 0, h)$, где x – путь, пройденный самолетом от момента съемки первого кадра, h – высота полета. Продольный угол наклона и угол разворота снимков считаются равными нулю, а поперечный угол наклона рассчитывается в зависимости от расположения снимка на накидном монтаже относительно оси X с учетом амплитуды колебания камеры. Координата x также рассчитывается по накидному монтажу по известной высоте съемки и фокусному расстоянию.

Для каждой стереопары блока, на одном снимке по сетке с заданным шагом моделируются связующие точки. Задавая параметры внешнего ориентирования снимков и высоту точки на земле, рассчитываются их геодезические координаты. Затем по ним вычисляются координаты этой же точки на втором снимке. Высота точки на земле рассчитывается случайным образом, либо определяется по модели рельефа. Таким образом, получается «чистый макет» без внесения ошибок измерений.

Для оценки точности блока нам строится еще один макет по той же методике с той разницей, что в координаты точки на втором снимке вносятся случайные ошибки опознавания и измерения. Некоторые точки в заданных зонах принимаются за опорные. Затем полученный блок триангуляции обрабатываются по обычной схеме: происходит построение и уравнивание блока способом блочного трансформирования и осуществляется привязка к опорным точкам. Вычисляются геодезические координаты точек сгущения.

Сравнивая координаты соответствующих точек первого и второго макета, рассчитываются расхождения координат, и вычисляется средняя квадратическая ошибка построения.

Варьируя количеством кадров в блоке, количеством и расположением опорных точек можно добиться оптимального построения блока.

Данная методика реализована в программе «Проектировщик» программного комплекса РосКад и используется для оценки точности блоков триангуляции. С помощью нее также возможно создание накладки монтажа, проектирование блоков триангуляции и проектирование опорных точек.

На рис. 2 показано распределение величины ошибок в блоке триангуляции. Ошибка рассчитана по разности геодезических координат точек «чистого макета» и макета с внесением ошибок. Одинарной штриховкой показана область где ошибка не превышает величины средней квадратической ошибки m , перекрестной штриховкой области где ошибка находится в пределах от m до $2m$, и темной штриховкой больше $2m$. Квадратами показаны 8 опорных точек. Данный блок состоит из 105 снимков, 255 пар снимков в пяти маршрутах. Из

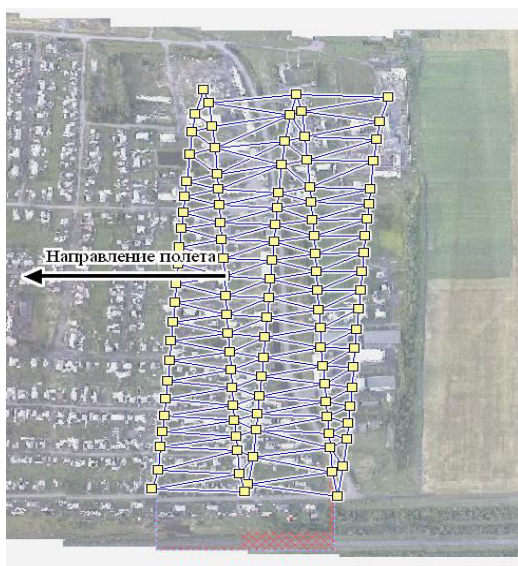


Рис. 1. Пример блока триангуляции Рис. 2. Распределение ошибок в блоке
рисунка видно, что в области между опорными точками и вблизи них величина ошибки меньше, а ближе к краям блока ошибка возрастает.

В настоящий момент видеотехнология имеет достаточно узкое применения на небольших объектах, с масштабом съемки 1:2000. Однако с каждым годом появляются новые цифровые фото- и видеокамеры с большой разрешающей способностью, при этом цена на эту технику неуклонно снижается. В сочетании с высокой автоматизацией фотограмметрической обработки результатов съемки использование данной технологии имеет перспективу развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильинский Н.Д. Предвычисление погрешностей построения пространственной фототриангуляции. – М.: Недра, 1978. – 64 с.
2. Быков Л.В., Макаров А.П. Автоматизация обработки видеофильмов // Информационный бюллетень ГИС. – 2001. – № 2.

3. Лобанов А.Н. и др. Аналитическая пространственная фототриангуляция / Лобанов А.Н., Овсянников Р.П., Дубиновский В.Б. Машимов М.М. – М.: Недра, 1991. – 156 с.

© Л.В. Быков, М.А. Шумилов, 2005

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВОБОДНО ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО АЭРОФОТОСНИМКАМ

В последнее время широкое распространение получили космические снимки среднего и высокого разрешения, которые используются в первую очередь для решения различных задач мониторинга поверхности Земли, создания специальных карт и топографических карт достаточно крупного масштаба (до 1:2000). Космические многоспектральные снимки среднего разрешения получают такие системы, как Landsat (США), Spot (Греция), IRS (Индия).

Оперативный мониторинг заключается в получении по космическим снимкам дополнительных данных, выполнении ортотрансформирования и занесения данных в ГИС. Это требует «быстрой» привязки космических снимков.

Затем выполняется сравнение данных, хранящихся в ГИС и информации, полученной по новым ортофотопланам, созданным по космическим снимкам.

Проблема привязки снимков не является тривиальной. Дело в том, что в настоящее время основной метод привязки космических снимков основывается на использовании топографических карт более крупного масштаба. Однако, при использовании космических снимков высокого разрешения привязка по картам является весьма сложным и неэффективным процессом.

Современные космические съемочные системы позволяют также получить снимки с разрешением 0,6-1,5м на местности. К таким системам относятся OrbImage, OrbView, QuickBird (США).

В данной работе предлагается «привязка» космических снимков по блоку или маршруту аэрофотоснимков, полученных по свободно ориентированной модели [1]. На рис. 1 показана взаимосвязь между точками космического и аэрофотоснимков крупного масштаба.

Для трансформирования космических снимков следует идентифицировать точки на космическом снимке и точки на свободной модели построенной по аэрофотоснимкам и затем выполнить определение параметров, связывающих координаты точек космического и аэрофотоснимка.

Для предварительного трансформирования цифровых космических снимков возможно использовать аффинное преобразование:

$$\left. \begin{aligned} X &= a_0 + a_1 x_k + a_2 y_k \\ Y &= b_0 + b_1 x_k + b_2 y_k \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где a_i, b_i - коэффициенты;

x_k, y_k - координаты точек на космическом снимке;

X, Y - координаты точек свободной модели, построенной по аэроснимкам.

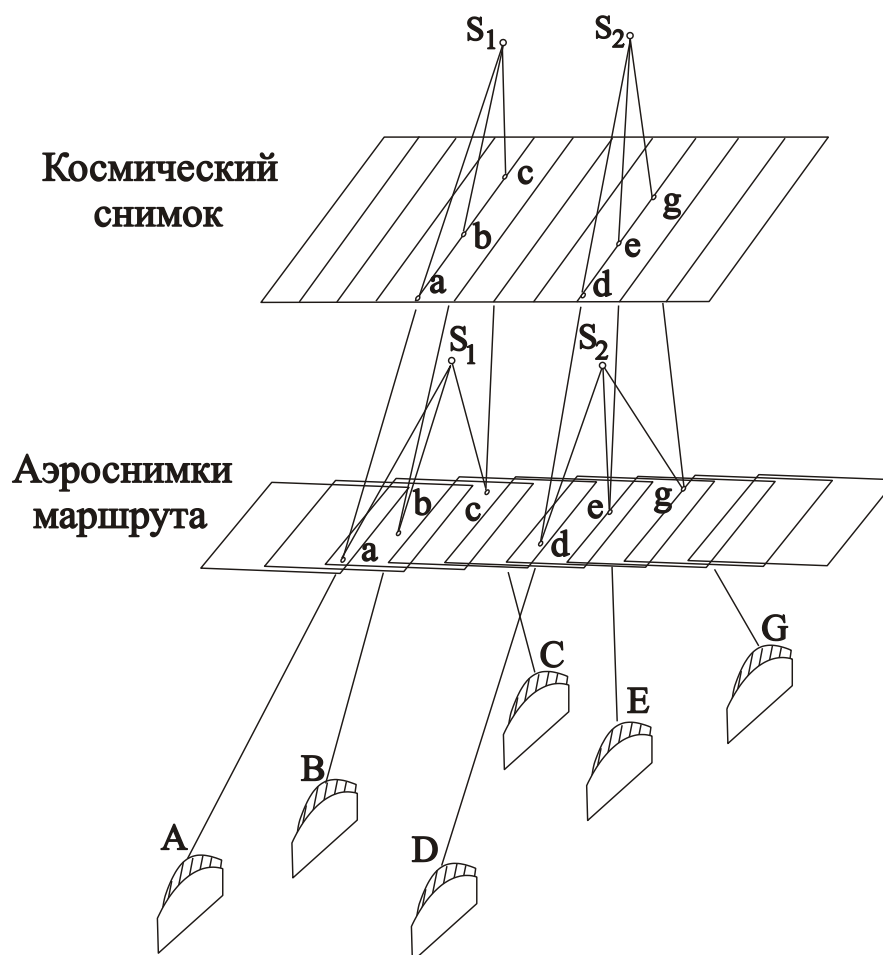


Рис. 1. Взаимосвязь точек космического снимка, сети аэрофотоснимков и точек местности

Коэффициенты аффинного преобразования определяются путем решения уравнений вида (1). Затем координаты всех точек и контуров космического снимка перевычисляются в систему координат свободной сети (X, Y) по формулам (1). Это позволит преобразовать космические снимки в ортогональную проекцию и использовать для работ, не требующих высокой точности.

Для получения более точных ортофотопланов требуется геодезически ориентировать свободную модель, построенную по аэрофотоснимкам. Трансформирование космических снимков следует осуществлять после геодезического ориентирования свободной сети.

На первом этапе осуществляется ориентирование свободной сети по опорным точкам в соответствии с известной формулой:

$$\bar{G}_{X_G Y_G Z_G} = \bar{G}_0 \{X_0 Y_0 Z_0\} + A_0 \cdot \bar{G}_{XYZ} \cdot t. \quad (2)$$

По формуле (2) вычисляются элементы внешнего ориентирования модели, где A_0 – матрица направляющих косинусов угловых элементов внешнего ориентирования модели ξ, η, θ ;

$\bar{G}_0 \{X_0 Y_0 Z_0\}$ – координаты начала фотограмметрической системы координат в геодезической системе;

$\overline{G}_{XYZ}$ - координаты точки модели в свободной системе координат;

t - масштабный коэффициент.

Затем координаты точек и контуров перевычисляются в геодезическую систему координат по формулам:

$$\overline{G}_{X_T Y_T} = \overline{G}_{0\{X_0 Y_0 Z_0\}} + A_0 \cdot \overline{G}_{XY} \cdot t. \quad (3)$$

Экспериментальные работы показали, что вставка точек по свободно ориентированной сети обеспечивает точность определения координат и контуров и получение цифровых трансформированных снимков до масштаба 1:25 000. После геодезического ориентирования сети возможно определить координаты по космическим снимкам и создать ортофотоплан с точностью, соответствующей внутренней метрической точности исходного космического снимка. То есть, по космическим снимкам высокого разрешения можно обновлять карты до масштаба 1:2000.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евстратова Л.Г. Технология создания цифровых карт в свободно системе координат // Геодезия и картография. – 2004. – № 9 – С. 42 – 44.

© Л.Г. Евстратова, 2005

УДК 528.721

А.С. Ессин, Л.В. Быков, С.С. Ессин

СибРКЦ «Земля», Омск

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОВИДЕОСЪЕМКИ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ ОРТОФОТОПЛАНОВ

В результате постоянных изменений на местности картографический материал стареет. Для сохранения его актуальности проводятся работы по обновлению планов и карт. Нормативные документы устанавливают сроки периодического обновления картографических материалов:

- Для важных обжитых районов этот период составляет 5-7 лет;
- На остальную территорию – 10-15 лет.

Существенные изменения на местности могут происходить гораздо быстрее в результате: активного освоения территории, при чрезвычайных ситуациях, стихийных бедствиях и т. д. В большинстве случаев площадь таких изменений не превышает нескольких квадратных километров. Поэтому необходимо выполнять оперативное выборочное обновление планов и карт. Кроме того, необходимость оперативного обновления возникает при ведении кадастрового мониторинга территорий, изменения состава собственников земли и т. д.

Для обновления локальных участков карты можно использовать материалы аэровideosъемки [1]. По сравнению с наземной инструментальной съемкой стоимость получаемой картографической продукции ниже и продолжительность ее изготовления меньше. Производительность обновления планов по материалам аэровideosъемки на площадь до 15 кв. км. выше, чем при использовании материалов аэрофотосъемки. Поэтому, технологическая

ниша «видеотехнологии» – оперативное выборочное обновление планов и карт в период между периодическим обновлением на основе материалов аэрофотосъемки.

Одной из особенностей видеосъемки является низкая разрешающая способность видеоизображения, по сравнению с фотоизображением. Чтобы компенсировать этот недостаток приходится увеличивать масштаб съемки в 4-5 раз. В связи с этим, один видеоснимок покрывает на местности не значительную площадь. Это приводит к увеличению количества обрабатываемых снимков и увеличению объема стереоскопических измерений. Для создания ортофотоплана масштаба 1:2000 на площадь в 1 кв. км. требуется обработать около 300-350 снимков и измерить около 25-30 тыс. связующих точек. Очевидно, что измерение вручную такого большого количества точек на столь малую площадь не целесообразно. Поэтому цель работы состоит в максимальной автоматизации процесса измерения идентичных точек при обработке материалов аэровидеосъемки.

Автоматизация стереоизмерений одиночных точек.

Автоматизация процесса стереоскопических измерений выполнена на основе площадных алгоритмов поиска идентичных точек. Известны следующие алгоритмы идентификации одиночных точек:

- Алгоритм последовательной привязки [5];
- Алгоритм взаимной корреляции [3, 5, 6];
- Алгоритм, основанный на методе наименьших квадратов [8].

Последовательный алгоритм привязки обладает высокой производительностью, но не имеет надежного критерия сравнения. Корреляционные алгоритмы выполняют обработку дольше, но имеют надежный критерий отбраковки ошибочных данных. Алгоритм, основанный на методе наименьших квадратов, эффективен в том случае, если приближенное положение искомой точки известно с достаточно высокой точностью. При увеличении области сопоставления эффективность алгоритма снижается. В данной работе, для измерения координат связующих точек использован метод взаимной корреляции.

Проведено исследование метода взаимной корреляции при обработке аэровидеоснимков. В результате исследования выявлены закономерности влияния параметров поиска на точность и количество найденных точек. Определены оптимальные параметры поиска идентичных точек на паре аэровидеоснимков:

- Размерность эталонного образа – 23х23 пикселя;
- Размерность образа низкочастотного фильтра – 3х3 пикселя;
- Размерность области поиска – 13х13 пикселей;
- Пороговая величина коэффициента корреляции – 0,80;
- Составной цвет, оптические плотности которого используются при анализе изображений – зеленый.

Метод взаимной корреляции позволяет выполнять измерения координат точек на изображениях с пиксельной точностью. Для фотограмметрической

обработки материалов аэросъемки не всегда достаточно пиксельной точности измерений, поэтому возникает задача измерения координат точек с субпиксельной точностью.

Стереοизмерения координат точек с субпиксельной точностью.

Известно два подхода к измерению координат точек с субпиксельной точностью [3, 8]. Один подход заключается в анализе композиции цветов. Примером является алгоритм идентификации точек с использованием метода наименьших квадратов. Суть второго подхода состоит в нелинейной аппроксимации функции сравнения в пределах глобального максимума. Установив максимум этой функции, определяется положение точки с субпиксельной точностью. Оба подхода позволяют определять координаты точек с достаточной точностью. Так как в работе, для измерения координат точек с пиксельной точностью используется метод взаимной корреляции, то при измерении координат с субпиксельной точностью используется подход, основанный на аппроксимации функции корреляции.

Аппроксимация функции сравнения может выполняться любыми функциями, например полиномами различных порядков. При использовании полиномиальной аппроксимации значение функции корреляции, вычисленное в твердых точках, будет отличаться от коэффициента корреляции, полученного для этих точек на этапе пиксельных измерений.

Для сглаживания функции корреляции используется аппроксимация поликватратическими функциями [4]. При построении сглаживающей функции используется зависимость

$$F_k(x, y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} S_{ij} + k_{cp} \quad (1)$$

где $F_k(x, y)$ – значение функции корреляции в точке с координатами (x, y) ;

c_{ij} – неизвестные поликватратические коэффициенты;

$S_{ij} = \sqrt{(x - x_{ij})^2 + (y - y_{ij})^2}$ – расстояния между определяемой и твердыми точками;

n – размерность области, в пределах которой выполняется аппроксимация;

k_{cp} – среднее значение коэффициента корреляции.

Вычисленное по поликватратическим коэффициентам значение коэффициента корреляции в твердых точках будет равно коэффициенту корреляции, полученному в этих точках на этапе пиксельных измерений.

Максимальная точность измерений координат точек ограничивается изобразительными свойствами снимка. Поэтому, при субпиксельных измерениях на цифровых изображениях достаточно разделять пиксель на конечное число частей. Функцию сглаживания можно строить в не явном виде и выполнять дискретную аппроксимацию функции корреляции.

Для проверки правильности работы предложенного алгоритма проведено исследование. Результаты стереоскопических субпиксельных измерений сравнивались с результатами аналогичных измерений в цифровой

фотограмметрической системе (ЦФС) Фотомод. Из анализа результатов установлено:

- Точность измерения координат точек предложенным алгоритмом и алгоритмом, применяющимся в ЦФС Фотомод, практически одинаковая;
- Установлена зависимость точности взаимного ориентирования снимков от точности стереоскопических измерений;

Установлено, что при точности измерений координат точек равной $\frac{1}{7}$ пикселя достигается максимальная точность взаимного ориентирования. При повышении точности стереоизмерений ошибка взаимного ориентирования не снижается.

Таким образом, разработан алгоритм, позволяющий выполнять субпиксельные стереоизмерения путем дискретной аппроксимации функции корреляции с заданной точностью.

Описанные алгоритмы предназначены для идентификации одиночных точек. При этом приближенные координаты идентичных точек должны быть известны с достаточно высокой точностью. Для установления приближенных координат точек или приближенной связи координатных систем снимков требуется участие оператора. Это не позволяет выполнять стереоизмерения автоматически.

Автоматические стереоизмерения.

Существует иерархический метод поиска идентичных точек [7], предназначенный для идентификации группы точек и автоматизированного ориентирования снимков стереопары. Иерархический алгоритм основан на обработке уменьшенных изображений. В этом случае приближенные координаты идентичных точек должны быть известны с не высокой точностью. Измерение точек выполняется итерационно, постепенно увеличивая масштаб изображения и уточняя координаты точек.

Если при проведении аэросъемки регистрируются элементы внешнего ориентирования (ЭВО) снимков, то приближенные координаты точек вычисляются по измеренным ЭВО снимков.

При выполнении аэровидеосъемки ЭВО видеоснимков определить с достаточной точностью не удастся. Поэтому нет возможности эффективно использовать иерархический алгоритм. Известные алгоритмы автоматизированных стереоизмерений не позволяют выполнять измерения на видеоснимках автоматически. Применение этих алгоритмов без дополнительной модификации малоэффективно.

Решение проблемы автоматических стереоизмерений по аэровидеоснимкам выполнялось в несколько этапов.

Выполнена адаптация иерархического алгоритма для обработки аэровидеоснимков. Область поиска расширена на всю площадь правого снимка и исключено уточнение точек на промежуточных иерархических уровнях. Идентификация точки осуществляется в два этапа: выполняется поиск точки по

уменьшенному изображению в пределах всей площади правого снимка; затем полученные координаты уточняются на снимке исходных размеров.

Совместное использование адаптированного иерархического алгоритма и метода взаимной корреляции позволяет выполнять стереоизмерения автоматически. Однако, использование метода взаимной корреляции не всегда удовлетворяет требованиям оперативности.

Разработан комбинированный алгоритм поиска точек, принцип работы которого заключается в следующем. Первоначально координаты соответственных точек находятся с использованием метода последовательной привязки изображений с высокой скоростью, а для проверки правильности поиска вычисляется коэффициент корреляции. Исследование алгоритма показало, что по сравнению с методом взаимной корреляции комбинированный алгоритм выполняет измерения в 2,5-3 раза быстрее. При этом сохраняется равная точность измерений. Автоматические измерения выполняются путем совместного использования адаптированного иерархического и комбинированного алгоритмов.

Проведено исследование [2] в результате которого определены оптимальные параметры для автоматической идентификации точек на аэровидеоснимках:

- Алгоритм автоматического поиска идентичных точек – иерархический совместно с комбинированным алгоритмом;
- Составной цвет, оптические плотности которого используются при анализе изображений – зеленый;
- Коэффициент уменьшения исходных снимков – 12;
- Размерность эталонного образа – 11;
- Пороговая величина коэффициента корреляции – 0,80.

Таким образом, разработан алгоритм автоматического поиска идентичных точек на паре аэровидеоснимков. При его использовании появляется возможность автоматической обработки большого объема информации, которая формируется в процессе аэровидеосъемки. Становится возможной оперативная обработка материалов аэровидеосъемки и получение обработанных данных в приемлемые сроки.

Внедрение результатов работы позволяет многократно повысить производительность стереоизмерений. Кроме того, при использовании автоматических стереоизмерений достигается существенный технологический эффект: стереоизмерения не требуют участия оператора, поэтому могут выполняться в не рабочее время.

Решение ключевых вопросов автоматизации стереоизмерений позволило усовершенствовать технологию создания ортофотопланов по материалам аэровидеосъемки и эффективно использовать ее на практике. Технологию рекомендуется использовать для оперативного обновления выборочных участков карты в период между периодическим обновлением по материалам аэрофотосъемки. Технология эффективна при создании ортофотопланов на площади до 15 кв. км.

На сегодняшний день по данной технологии в различных субъектах федерации выполнено выборочное обновление планов масштаба 1:2000 на общую площадь более 100 кв. км.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быков Л.В. Опыт и перспективы обновления кадастровых планов с применением материалов аэровидеосъемки местности / Л.В. Быков, А.П. Макаров // Информ. бюл. ГИС-Ассоциации. – 2001. – №2(29)–3(30). – С. 7–9.
2. Ессин А.С. Исследование алгоритмов автоматической идентификации точек на паре видеоснимков / А.С. Ессин // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – №3. – С. 79-89.
3. Лобанов А.Н. Автоматизация фотограмметрических процессов / А.Н. Лобанов, И.Г. Журкин – М.: Недра, 1980. – 240 с.
4. Малявский Б.К. Аналитическая обработка фотограмметрической информации в целях инженерных изысканий / Б.К. Малявский, А.А. Жарновский – М.: Недра, 1984. – 220 с.
5. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений / У.К. Прэтт – М.: Мир, 1978. – 384 с.
6. Фу. К. СБИС для распознавания образов и обработки изображений. Пер. с англ. / К. Фу. – М.: Мир, 1988. – 247 с.
7. An Integral Approach to Automatic Aerial Triangulation and Automatic DEM Generation / P. Krzystek, T. Heuchel, U. Hirt, F. Petran // IAPRS. XVIII ISPRS Congress. – Vienna, 1996. – V. 31, P. B3. – P. 405-414.
8. Berger M. The framework of least squares template matching / M. Berger. – Technical Rep. № 180, Fachgruppe Bildwissenschaften. – ETH Zurich. – 1998. – 11p.

© А.С. Ессин, Л.В. Быков, С.С. Ессин, 2005

УДК 528.852

С.С. Савидова

ООО «Дата+», Москва

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДДЗ ОТ LEICA GEOSYSTEMS И ДАТА+

Leica Photogrammetry Suite (LPS)

Этот программный продукт предназначен для решения целого спектра фотограмметрических задач – от привязки и ортотрансформирования снимков до создания цифровых моделей рельефа и стереодешифрирования. Он разработан для широкого круга пользователей – от ГИС-специалистов, не имеющих опыта фотограмметрических работ, до профессиональных фотограмметристов.

LPS обладает возможностями цифровых фотограмметрических станций и является точным и удобным инструментом для работы с изображениями. LPS поддерживает более 150 форматов данных и 150 проекций и систем координат. Работает с различными типами снимков – черно-белыми, цветными, многозональными.

В LPS используются как стандартные, так и пользовательские модели сенсоров для аэрофотосъемочных камер, 35-мм фотокамер, цифровых камер на матрицах ПЗС, видеокамер, сенсоров космического базирования SPOT, IRS-1C, MODIS, Quick Bird, ASTER, EROS A1, IKONOS.

Для проведения фототриангуляции можно использовать не только аэрокосмические изображения, но также и снимки, полученные с земной поверхности или под большим углом к снимаемому объекту, в результате фототеодолитной съемки и промышленной фотограмметрии.

LPS построен по модульно-иерархическому принципу. В основе любой конфигурации лежит ядро системы LPS Core, обладающее широким спектром возможностей и подходящее для решения большинства стандартных задач. Остальные модули могут быть добавлены к ядру для расширения его функциональности. Помимо этого, LPS может обмениваться данными опорными, векторными данными и данными ориентирования с аналоговыми и аналитическими рабочими станциями. Модульная архитектура LPS позволяет подстраивать программное обеспечение под конкретные задачи в области фотограмметрии и ГИС.

Для дополнения функциональности LPS, совместно с ним могут работать четыре других программных продукта. Фотограмметристы, инженеры и ГИС-профессионалы могут найти в программной среде LPS все необходимые инструменты, отвечающие их требованиям.

Ядро (Core) – самостоятельный продукт и фундамент для работы всех модулей, содержит функции создания и настройки проекта, управления им, проведения триангуляции, ортотрансформирования, монтажа ортотрансформированных снимков в единое изображение и вывода полученных результатов.

Automatic Terrain Extraction (ATE) – инструмент для автоматического создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) на основе блока снимков или стереопар. Результатом являются либо отдельные файлы на каждое перекрытие, либо общая мозаика. ЦМР выводятся в растровом формате или в виде TIN. Есть возможность вывода горизонталей и трехмерных шейп-файлов.

Terrain Editor (TE) позволяет интерактивно редактировать цифровые модели рельефа в стереорежиме. Это продвинутый инструмент, обладающий уникальными возможностями. Пользователь, видя одновременно стереоснимок и рельеф (горизонталы и/или TIN), может редактировать рельеф или создавать его вручную.

PRO600 – мощный модуль стереодешифрирования, связывающий LPS и MicroStation. Он позволяет проводить трехмерную векторизацию в среде MicroStation, используя весь представленный там набор инструментов, и предназначен для крупных картографических проектов.

ORIMA DP (Digital Photogrammetry) – модуль, предназначенный для проведения сложной фототриангуляции в неоднородных блоках с неограниченным количеством снимков. Доступны расширенный графический анализ и методы автоматического поиска грубых ошибок.

ERDAS IMAGINE® 8.7

ERDAS IMAGINE - программный пакет, разработанный специально для обработки и анализа данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Это идеальное решение как для новичка в области обработки ДДЗ, так и для эксперта.

ERDAS IMAGINE предоставляет полный набор инструментов в области обработки ДДЗ, которые позволяют анализировать данные из любого источника и представлять результат в различных формах – от печатных карт до трёхмерных моделей.

ERDAS IMAGINE построен по модульному принципу, и вы можете приобрести только те модули, которые вам необходимы. ERDAS IMAGINE является масштабируемым решением, производительность которого зависит от требований пользователя к процессу обработки изображений. Из трёх базовых комплектов и большого количества дополнительных модулей вы сможете построить подходящую вам систему обработки и анализа ДДЗ.

ERDAS IMAGINE поставляется в виде базовых комплектов – IMAGINE Essentials™, IMAGINE Advantage™ и IMAGINE Professional™ – каждый последующий включает в себя и дополняет функциональные возможности предыдущего.

ERDAS IMAGINE имеет единую архитектуру, интерфейс пользователя и функциональные возможности на различных платформах UNIX и IBM PC.

Визуализация и импорт данных

ERDAS IMAGINE имеет широкие возможности по визуализации и анализу различных типов данных. Более 50 форматов файлов могут читаться и записываться напрямую, не требуя никакой конвертации, импорта или экспорта. Среди них – собственный формат *.img, ArcSDE Raster, Windows Bitmap, ENVI, ENVISAT, HDF, GeoTIFF (.tif), JFIF (.jpeg), JPEG 2000 (включая GeoJP2), MrSID, PCI (.pix), SPOT-5 DIMAP, Surfer, TIFF (.tif).

Более 100 форматов файлов доступны через импорт, экспорт или конвертацию в форматы прямого доступа. Таким способом могут быть использованы растровые данные спутников ASTER, NOAA, IKONOS, IRS, Landsat, MODIS, QuickBird, SeaWiFS, SPOT, Ресурс-О; данные радиолокационных спутников ERS, Envisat, Radarsat; данные в форматах ASCII, MapInfo, MrSID, PCI, Sun, Surfer, VITEC и многих других. Кроме этого, в ERDAS IMAGINE реализована поддержка баз геоданных ESRI.

Главным инструментом визуализации данных в ERDAS IMAGINE является Вьюер Просветного Стола (IMAGINE Geospatial Light Table™, GLT™), содержащий инструменты интерактивной визуализации и обработки изображений. Он позволяет отображать, комбинировать, географически связывать, анализировать и представлять данные в едином окне. Вьюер также предоставляет возможности одновременного отображения разнотипных изображений и их взаимного наложения, причем данные могут иметь разные разрешение, систему координат и проекцию. Имеются удобные регуляторы яркости, контрастности, масштабирования и поворота изображения, инструменты цветового синтеза, измерения площадей и расстояний.

Вьюер содержит инструмент работы с GPS-приёмником, позволяющий отслеживать во Вьюере текущее местоположение на экране компьютера поверх загруженных снимков и картографических материалов любого масштаба, а также записывать информацию об опорных точках и перемещении в пространстве.

Геометрическая коррекция

Для правильной работы с данными дистанционного зондирования необходима их геометрическая коррекция и привязка, т.е. приведение к определённой системе географических координат.

В ERDAS IMAGINE привязка данных может производиться автоматически на основе орбитальных данных или в интерактивном режиме с помощью различных алгоритмов и моделей сенсоров:

- Трансформирование изображения на основе аффинного и полиномиального преобразований и метода «резинового листа»;
- Трансформирование снимков определённых сенсоров на основе специальных моделей, учитывающих параметры этих сенсоров (IKONOS, QuickBird, Landsat, Spot и др.);
- Быстрая привязка изображения по одной точке (для смещённых координат или после импорта);
- Перепроецирование трансформированных изображений.

Трансформированные смежные снимки могут быть сшиты в единое бесшовное изображение при помощи инструмента монтажа изображений (Mosaic tool), который предоставляет возможности цветовой балансировки и сшивки снимков, получения чётких и единых по контрасту, цвету и яркости изображений. Помимо создания единого изображения, есть возможность автоматической нарезки итогового изображения на листы разграфки любого масштаба.

Улучшающие преобразования и ГИС-анализ

В состав ERDAS IMAGINE входит модуль Image Interpreter, содержащий набор инструментов для обработки изображений и пространственного анализа. В его состав входят:

Пространственные улучшающие преобразования (фильтрация со свёрткой, фокальная тематическая фильтрация, адаптивные фильтры Уоллеса, слияние снимков с разными пространственным и спектральным разрешениями и др.).

Радиометрические преобразования (выравнивание и совмещение яркостных гистограмм, подавление шума и др.);

Спектральные преобразования (преобразование главных компонент, Tasseled cap и пр.);

Гиперспектральные инструменты (нормализация спектра, вычисления относительных яркостей, нормализация яркостей, и пр.);

Фурье-анализ (прямое и обратное преобразование Фурье, подавление периодических шумов и пр.).

Кроме того, имеется набор инструментов анализа: топографический анализ ЦМР (построение зон видимости, карт уклонов и экспозиций склонов, отмывка рельефа, интерполяция поверхностей и др.) и ГИС-анализ (анализ по окрестности, функции обработки тематических растров, построение буферных зон, картографическое наложение, пространственная статистика, перекодирование и др.).

Дешифрирование снимков

ERDAS IMAGINE предоставляет возможности проведения дешифрирования ДДЗ любого уровня - от простейшей автономной

классификации до построения сложной многопараметрической экспертной системы классификации данных.

Встроенный модуль Classification содержит несколько алгоритмов классификации данных:

Алгоритм ISODATA, позволяющий проводить автономную классификацию (кластеризацию).

Классификация с обучением, которая дает возможность управлять классификацией на всех её этапах: выбор, оценка и редактирование эталонов; проверка пригодности системы эталонов для классификации; быстрая пре-классификация с показом неоднозначных областей; построение спектральных графиков и гистограмм эталонов; постклассификационное редактирование и оценка точности классификации.

ERDAS IMAGINE – один из первых коммерческих программных продуктов в сфере разработки экспертных систем, использующих географическую информацию для поддержки принятия решений. При помощи инструмента экспертной классификации IMAGINE Expert Classifier™ пользователи получают доступ к построению экспертных систем для классификации изображений, обработки результатов классификации и ГИС-моделирования на профессиональном уровне.

Моделирование

В состав IMAGINE Advantage входит Spatial Modeler™ – универсальный инструмент обработки изображений и построения алгоритмов пространственных вычислений. Алгоритмы обработки могут также строиться с помощью графического редактора блок-схем, преобразующего их в программы (скрипты) на языке SML. Многие функции ERDAS IMAGINE представлены в виде таких скриптов и блок-схем, которые пользователь может использовать в своих разработках.

Создание карт

Результат любого процесса по обработке ДДЗ в ERDAS IMAGINE может быть представлен в виде карты, как электронной, так и бумажной. При помощи модуля Map Composer пользователь может создавать и редактировать карты и фотопланы, готовить их к выводу на печать. В компоновку карты можно добавлять различные элементы: любое количество фреймов данных (картографических изображений), координатные сетки (возможно добавление нескольких сеток в различных проекциях), рамки, масштабные линейки, заголовки и надписи, графика и логотипы, стрелки направления на север и пр. Легенды карт могут создаваться как автоматически, так и с учётом параметров, определяемых пользователем. Возможно создание пользовательских шаблонов карт и печать серий карт в произвольной разграфке любого масштаба.

«ДАТА+» - официальный представитель компаний Leica Geosystems (поставщик профессионального фотограмметрического оборудования и программного обеспечения для обработки, анализа, моделирования пространственных данных) и ESRI (мирового лидера по разработке и внедрению Геоинформационных Систем) в России и большинстве стран СНГ.

Основной вид деятельности компании – продажа программного обеспечения Leica Geosystems и ESRI. «ДАТА+» предлагает своим пользователям локализованные версии программных продуктов, а также интегрированные решения для создания и развития комплексных информационных систем, базирующихся на пространственной информации.

Всего около 2000 организаций стали деловыми партнерами, клиентами, пользователями компании «ДАТА+». Постоянное увеличение числа клиентов является одним из важнейших показателей продуктивной работы «ДАТА+».

Учебный центр «ДАТА+» осуществляет подготовку специалистов по работе с новейшими программными продуктами Leica Geosystems и ESRI.

© С.С. Савидова, 2005

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ ОРТОФОТОПЛАНОВ МАСШТАБА 1 : 25 000 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КООРДИНАТ ЦЕНТРОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В последнее время стало актуальным применение GPS-технологий при создании планово-картографической основы топографических и земельно-кадастровых карт и планов. Применение цифровых методов фотограмметрии в практике создания или обновлении топографических, кадастровых и др. карт стало реальностью сегодняшнего дня. На данном этапе развития появился интерес к пространственной аналитической фототриангуляции с использованием координат центров проектирования, полученных с помощью спутниковых измерений, что позволяет уменьшить стоимость работ по сгущению опорных сетей. В общем случае координаты опорных точек, как правило, определяются геодезическими методами в полевых условиях, что требует значительных временных и финансовых затрат. Экономия при использовании полетных GPS-измерений заключается в том, что для большинства таких проектов требуется меньшее количество точек наземного обоснования или даже полное их отсутствие.

В ЗАО НПП «Центр прикладной геодинамики» были проведены исследования точности фотограмметрической обработки снимков с использованием бортовых GPS-измерений. В ходе эксперимента в рамках реального проекта было выполнено уравнивание фототриангуляционного блока и построение ортофотопланов масштаба 1 : 25 000 с использованием различных исходных данных на Саяногорский лицензионный участок.

На предприятии «Центр прикладной геодинамики» при помощи собственного оборудования выполняется полный производственный цикл работ от аэрофотосъемки и изготовления картографической продукции до землеустроительных работ с постановкой на кадастровый учет земельных участков.

Аэрофотосъемка выполнялась на собственном самолете АН-30. На борту самолета установлена система управления процессом съемки ASCOT для определения навигационных параметров во время съемки, которая полностью синхронизирована с камерой RC-30 фирмы Leica (Швейцария) и гиросtabilизирующей платформой RAV30. В систему, кроме бортового компьютера, входят также дисплей для пилота и терминал оператора. Информация, отображаемая на дисплее, существенно облегчает пилоту «заход» на съемку и контроль полета по заданной траектории движения. Оператор на терминале видит и контролирует в реальном режиме времени весь процесс аэрофотосъемки, текущую траекторию полета, отклонения от проекта работы, азимут, скорость движения, количество отснятых кадров и т.д.

С целью определения координат центров проектирования для каждого снимка на борту самолета наряду с аэрофотосистемой установлен GPS-приемник, который определяет геоцентрические координаты местоположения самолета (точнее, антенны GPS-приемника) с интервалом 0,5 сек. Для

обеспечения высокой точности определения координат центров проектирования используется дифференциальный метод, для реализации которого на земле в районе выполнения аэрофотосъемки, на точке с известными с высокой точностью координатами, устанавливается второй (базовый) GPS-приемник. Постобработка результатов измерения бортовым и наземным GPS-приемниками производится в программе Flykin Suite+. В конечном итоге координаты точек фотографирования определяются в любой необходимой системе координат с точностью 10-30 см. Чем меньше расстояние между бортовым и базовым приемниками, тем выше точность определения координат центров проектирования.

Для построения ортофотопланов использовались цветные спектрозональные снимки масштаба 1: 40 000, полученные аэрофотосистемой RC-30 с фокусным расстоянием $f=153,44$ мм, отсканированные на фотограмметрическом сканере «Дельта» с разрешением 16 мкм. Размер блока фототриангуляции составлял 9 маршрутов по 15-22 снимков.

Уравнивание блочной сети фототриангуляции, построение цифровой модели рельефа и создание ортофотоплана производилось с использованием программного комплекса «Талка». Измерение координат связующих точек выполнялось на всех снимках, на которых эти точки изображены. Как правило, в продольном перекрытии снимков измерялись координаты 30 точек, расположенных равномерно по стереопаре. В межмаршрутных перекрытиях снимков измерены координаты 18 связующих точек. На этапе уравнивания фототриангуляции и внешнего ориентирования блока дополнительно использовался модуль программы «Orima» фирмы Leica, который позволяет более точно выявить грубые ошибки в опознавании и измерении связующих и опорных точек, что облегчает и ускоряет процесс уравнивания блока сети. Цифровая модель рельефа была построена с шагом сетки 10 м.

В ходе экспериментальных работ было выполнено семь вариантов по построению ортофотопланов с различными исходными данными. В первом варианте использовались 49 опорных точек, равномерно расположенных по всему блоку и центры проектирования. Во втором тесте использовались только опознаки, в третьем - только центры проектирования. В четвертом варианте участвовали восемь опознаков, расположенных по углам блока, в пятом тесте - те же опознаки и центры проектирования. В шестом тесте число опорных точек было уменьшено до 5, расположенных хаотично, в седьмом тесте число и расположение точек осталось тем же, что и в шестом, но дополнительно использовались координаты центров проектирования. После каждого варианта уравнивания сети фототриангуляции было построено три листа ортофотоплана в разграфке масштаба 1:25000 на разные участки блока: два по краям и один в центре. Оценка точности ортофотопланов выполнялась в программе MapInfo по одним и тем же 13 контрольным точкам. Окончательные результаты эксперимента представлены в таблице.

Таблица. Точность построения ортофотопланов

	Средние погрешности планового положения контрольных точек, м			
	Без опознаков	49 опознаков, равномерно расположенные по объекту	8 опознаков по углам объекта	5 опознаков, хаотично расположенных по объекту
Без координат центров проектирования	-	1,55	1,61	1,85
С использованием координат центров проектирования	9,40	1,13	1,45	1,55

Из анализа результатов, приведенных в таблице, можно сделать следующие выводы.

1. Для создания ортофотопланов масштаба 1: 25 000 достаточно использовать только координаты центров проектирования, т.к. полученные средние погрешности планового положения контрольных точек полностью удовлетворяют требованиям точности создания карт данного масштаба (0,5 мм в масштабе создаваемого фотоплана или 12,5 м на местности).

2. Достигнутая точность определения планового положения точек местности позволяет сделать вывод, что по снимкам масштаба 1: 40 000 можно создавать ортофотопланы масштаба 1: 5 000, при этом используя координаты центров проектирования и только 5 опорных точек, хаотично расположенных по объекту. Как видно из таблицы, количество опорных точек и их расположение на объекте не существенно повлияло на точность построения ортофотоплана. Это связано с тем, что территория Саянск-Ленинского лицензионного участка представляет собой равнинную слаболесенную местность с большим количеством контуров, что позволило выполнить построение сети фототриангуляционного блока с высокой степенью точности.

3. Во всех случаях обработки снимков использование координат центров проектирования позволило повысить точность конечных результатов.

© С.Е. Москаленко, 2005

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР КАК ОСНОВА СИСТЕМЫ СБОРА КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Фотограмметрические методы сбора картографической информации сохраняют свою ведущую роль при создании и обновлении топографических карт, при изготовлении цифровых моделей рельефа и фотографических изображений местности в картографических проекциях (ортофотокарт, ортофотопланов). Большой территориальный охват, съёмка труднодоступных территорий, возможность контроля точности и полноты собираемой информации обеспечивают их преимущество перед наземными методами топографической съёмки.

В настоящее время основным инструментом обработки материалов фотографической съёмки являются цифровые фотограмметрические станции (ЦФС). Это сложные программно-технические комплексы, включающие сканирующие устройства, вычислительную технику, программное обеспечение (ПО) для подготовки исходных материалов, вычисления элементов взаимного и внешнего ориентирования снимков, выполнения фототриангуляции, сбора картографической информации, контроля качества получаемой продукции, её оформления и экспорта в картографические или ГИС-системы.

Одной из самых трудоёмких технологических операций при создании топографических карт является сбор картографической информации. Сложность её выполнения часто возрастает из-за несоответствия требований заказчика и возможностей программного обеспечения ЦФС, что приводит к необходимости использования дополнительного программного обеспечения. Для решения этой и многих других проблем в качестве системы сбора картографической информации в новой версии цифровой фотограмметрической станции SDS, создаваемой на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, автором разработан топологический редактор.

Свое название редактор получил благодаря способности работать как с объектной моделью данных, так и с топологической, основанной на цепочно-узловой структуре. Это обеспечивает эффективное выполнение аналитических операций над пространственными данными, например, в системе контроля качества. Развитая модульная структура редактора позволяет при необходимости реализовать и другие модели пространственных данных.

Другой важной особенностью разработанного топологического редактора является гибкое информационное обеспечение. Под информационным обеспечением здесь понимается система классификации и кодирования семантической информации, правила отображения картографических объектов в условных знаках, правила пространственно-логического описания объектов. С помощью встроенного программного обеспечения можно описать не только общую структуру классификатора, но и правила взаимодействия его отдельных полей. Проведённые эксперименты показали, что таким образом можно

успешно моделировать такие разные по строению классификаторы, как MapInfo, ЦФС ЦНИИГАИК, ТороWin (центр Сибгеоинформ, Новосибирск). Библиотека условных знаков также может быть настроена в соответствии с используемым классификатором и требованиями заказчика.

В результате использования настраиваемого информационного обеспечения топологический редактор получил возможность работать практически с любыми цифровыми картами. Это особенно важно при обновлении карт, используемых в различных ГИС-проектах, так как в случае несоответствия информационного обеспечения цифровой карты и программного обеспечения значительная часть накопленной пользователями семантической информации может быть утрачена.

Программное обеспечение, которое может быть использовано для редактирования цифровой карты, достаточно сильно отличается друг от друга по своим возможностям. Поэтому иногда целесообразно объединить сильные стороны разного ПО в рамках единой системы сбора. Препятствием к такому объединению может служить несовместимость форматов данных. В этом случае топологический редактор благодаря способности работать с разными типами цифровых карт может быть использован для интеграции разнородных программных компонентов.

Правила пространственно-логического описания объектов, которые также можно гибко настраивать, используются для работы встроенной в редактор системы контроля качества. Система контроля качества проверяет правила локализации объектов, требования к передаче формы, логику сочетания объектов. Различают два режима работы контролирующих процедур и алгоритмов системы контроля качества:

- Пакетный или индивидуальный запуск контролирующих процедур после внесения в содержимое цифровой карты набора изменений с последующей ручной, полуавтоматической или автоматической коррекцией обнаруженных несоответствий;

- Работа контролирующих процедур непосредственно в режиме внесения изменений, в процессе редактирования данных.

Обычно в системах контроля качества реализуется только первый вариант (пакетный) запуска контролирующих процедур, хотя работа в реальном режиме времени имеет определённые преимущества. Основной особенностью такого варианта является работа в режиме недопущения ошибок, с акцентированием внимания оператора на проблемных местах до того, как он перейдёт к обработке другого объекта. В рамках данного режима работы алгоритмы могут выполнять «доставление» формируемого контура за счёт фрагментов уже существующих объектов.

Развитые коммуникационные возможности топологического редактора позволяют организовать распределённую фотограмметрическую систему. Одним из достоинств такой системы является централизованное хранение и управление информационными ресурсами. Это особенно важно при выполнении фотограмметрических проектов большого размера.

Особенности системы хранения метрической и семантической информации позволяют организовать совместное редактирование картографических данных несколькими операторами одновременно. Конфликты, которые могут при этом возникнуть при попытке одновременного редактирования разными пользователями одного и того же объекта, решаются с помощью использования механизма транзакций и блокировки редактируемых данных. Такая возможность обеспечивается использованием многоверсионной модели данных, когда в базе данных хранятся несколько версий одного и того же картографического объекта. Основным отличием созданной системы для работы с пространственными данными от современных распределённых СУБД является реализованная возможность отката/возврата внесённых пользователем изменений. Это важно, так как особенности редактирования картографических данных предусматривают использование «длинных» (по времени) транзакций с большим количеством вносимых изменений. В современных СУБД такая возможность не реализована, либо реализована в очень ограниченном объёме, например, в Microsoft SQL Server глубина отмены внесённых изменений может иметь только пять шагов.

Разработанный топологический редактор в первую очередь ориентирован на решение задачи обновления топографических и тематических карт. В целом же его возможности соответствуют требованиям, предъявляемым к цифровым фотограмметрическим станциям нового поколения.

© В.Н. Никитин, 2005

УДК 528.7:574

И.В. Лесных, Л.К. Трубина

СГГА, Новосибирск

МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

При геоэкологическом мониторинге геосистемы и экосистемы являются центральным объектом наблюдения, оценки и прогнозирования. Применение в системе геоэкологического мониторинга цифровых фотограмметрических методов обеспечивает сбор пространственной информации о различных компонентах природной среды. Анализ материалов, опубликованных в последние годы, показывает, что научные и практические разработки по использованию аэрокосмической информации для геоэкологического мониторинга ведутся чрезвычайно активно и плодотворно. В то же время, можно констатировать, что в подавляющем большинстве применение аэрокосмической информации направлено на решение задач глобального и регионального, и в меньшей степени локального уровней. Что же касается, более детальных уровней, соответствующих популяционному, организменному и клеточному, то для изучения экосистем такого уровня снимки, в качестве источников информации, применяются ограниченно либо совсем не применяются. В складывающейся экологической обстановке при возрастании антропогенных нагрузок на природную среду повышается актуальность исследований экосистем всех уровней их пространственной организации и как

следствие, значимость материалов съемок разных масштабов в качестве оперативных источников данных.

Расширению спектра приложений фотограмметрических методов способствует высокий потенциал современных технических средств получения и обработки цифровых изображений, которые обеспечивают:

- *Оперативность* выполнения съемок, так как цифровые камеры хорошо приспособлены для проведения съемок в разных масштабах;
- *Доступность методов обработки изображений* широкому кругу пользователей за счет их реализации компьютерными средствами;
- *Объективность* получаемой информации, т.к. Природные объекты изучаются по адекватным им трехмерным моделям, формируемым по стереопарам изображений, обладающим высокой метрической точностью;
- *Комплексный подход* на основе совместного анализа материалов стереосъемок различных видов и масштабов.

Эффективная обработка снимков реализуется благодаря постоянно совершенствующимся методам цифровой обработки изображений, внедрению цифровых фотограмметрических станций (ЦФС), обеспечивающих многофункциональную обработку аэрофотоснимков и наземных снимков. Компьютерные средства делают цифровую фотограмметрию гибкой и универсальной.

Тем самым созданы условия и предпосылки широкого применения материалов разных видов цифровых стереосъемок для информационного обеспечения геоэкологического мониторинга, что обеспечит пространственно сопряженными данными все иерархические уровни исследований экосистем. Дополнительно к материалам космических и мелкомасштабных аэрофотосъемок предлагается использовать материалы следующих видов стереосъемки: аэрофотосъемка крупных масштабов, наземная съемка, в том числе с близких расстояний, макро- и микросъемка. Наибольший эффект при обработке материалов крупномасштабных видов съемок достигается применением стереофотограмметрических методов, когда сбор информации осуществляется не по первичным источникам данных – снимкам, а – по моделям. В этом случае, пространственные по своей сути природные объекты изучаются по адекватным им трехмерным моделям. Такой подход позволяет всесторонне исследовать многие компоненты, формирующие экосистему, выявлять взаимосвязь между ними, а также наглядно представлять результаты исследований. Понятно, что реализация таких методов предполагает наличие соответствующего оборудования, профессиональной подготовки исполнителей и методик, отличающихся от используемых при обработке мелкомасштабных материалов аэрокосмической съемки.

Конкретизация объектов, надежно идентифицируемых по снимкам разного масштаба, осуществляется в соответствии с уровнем пространственной организации экосистем и опирается на базы знаний природоведческих наук. Безусловно, всякий раз должен уточняться состав объектов и, как следствие, набор определяемых количественных и качественных параметров.

Нижеприведенный перечень объектов показывает информационные возможности материалов разных видов съемок для детального изучения различных природных объектов.

Стереомикросъемка обеспечивает изучение морфологии биологических объектов на клеточном уровне (например, пыльцевые зерна растений, срезы структурных элементов растения).

Стереомакросъемка позволяет изучать строение органов и тканей отдельной особи или организма, в частности структуру частей отдельного растения: конфигурацию, линейные и относительные размеры листа, рисунок его прожилок относительно оси симметрии.

Стереосъемка с близких расстояний охватывает отдельные растения в целом, обеспечивая их структурный анализ, то есть определение размеров их частей: стеблей, листьев, плодов, их ориентацию в реальном биоценозе, биомассу; а также исследование абиотических компонентов: микрорельефа, поверхностной структуры почв, трещиноватости.

Наземная съемка позволяет получать значения некоторых параметров на популяционном уровне: разнообразие и относительность обилия видов, оценку изменения видового состава растений, животных и др. При этом возможны варианты ее проведения, как с уровня земли, так и с вышек и других приспособлений для съемки с разным ракурсом, что увеличивает обзорность и обеспечивает определение дополнительных параметров.

По материалам крупномасштабных аэрофотосъемок идентифицируются детальная структура почвенного и растительного покрова, различные фитоценотические характеристики: густота, сомкнутость крон, проективное покрытие, фитомасса, зоогенные структуры, распространение хвое- и листогрызущих насекомых и т.д. Кроме того, фотограмметрические методы обработки аэро- и наземных снимков позволяют формировать цифровые модели рельефа, как важного фактора, определяющего различные природные процессы.

Нельзя не отметить, что сведения, получаемые по материалам вышеперечисленных видов съемок, имеют несомненную прагматическую ценность не только для экологической оценки, но и для получения новой информации в прикладных исследованиях, в частности, в ботанике и зоологии, систематике растений и животных. При этом трехмерные модели, сформированные по стереопарам, позволяют сохранять уникальную информацию о биоразнообразии, что особенно актуально при изучении редких и исчезающих видов.

Для сбора пространственной информации в процессе проведения геоэкологического мониторинга предлагается использовать *цифровые фотограмметрические технологии*.

Основой предлагаемых технологий являются три составляющие: проведение съемок цифровыми съемочными системами, обработка снимков цифровыми методами и применение геоинформационных систем для интерпретации и визуализации результатов фотограмметрической обработки и их интеграции с другого рода экологической информацией.

Стереосъемка, проводимая цифровыми камерами, обеспечивает оперативное получение цветных цифровых изображений, при исключении фотохимических процессов, автоматизацию процесса фотографирования и переноса изображений на компьютер. Рынок цифровых камер предоставляет широкий выбор для потребителей [1]. Однако специальные цифровые камеры высокого разрешения для целей фотограмметрии, весьма дороги, что ограничивает их применение. При этом имеется ряд цифровых камер, относящихся к классу полупрофессиональных, которые обеспечивают достаточно высокое качество цифровых изображений для решения прикладных задач, на их использование и ориентированы предлагаемые технологии.

Изображения, получаемыми такими камерами, относятся к неметрическим, что не означает невозможность их применения для измерительных целей, а только вызывает необходимость учета особенностей геометрии их формирования при последующей фотограмметрической обработке. Процесс обработки изображений реализуется компьютерными средствами и сводится к формированию математической модели изучаемого объекта по стереопаре изображений, на основе возникающих при съемке условий коллинеарности и компланарности проектирующих лучей. Реализация этих условий может осуществляться с помощью разных вычислительных алгоритмов. Один из вариантов заключается в построении модели по результатам измерения соответственных точек стереопары, с последующим приведением модели к истинному масштабу и ориентировании ее относительно внешней системы координат по опорным точкам. Другой – построение модели по установочным величинам, т.е. элементам внешнего ориентирования снимков, которые определяются непосредственно в процессе съемки, или вычисляются для каждого снимка по опорным данным. Последний вариант предпочтительнее для обработки цифровых изображений, получаемых неметрическими камерами. Типовые процедуры цифровой фотограмметрической обработки стереопар реализованы в составе программного обеспечения ЦФС. Они в большей степени ориентированы на решение комплекса топографических задач по материалам аэрофотосъемки, поэтому их использование с целью обработки цифровых неметрических изображений потребовало некоторых методических доработок.

Рассмотрим особенности предлагаемых технологий обработки материалов съемок разных масштабов.

Технология микросъемки включает процессы получения и обработки одиночных и стереоскопических пар снимков, получаемых как оптическим, так и электронным микроскопами [2,3]. Она ориентирована на анализ морфологии частиц грубодисперсной фракции атмосферных аэрозолей при исследовании процессов их распространения. При этом грубодисперсная фракция в большинстве случаев представлена частицами неправильной геометрической формы, именно сложность формы частиц вызвала необходимость применения фотограмметрических подходов для их изучения. Обработано большое число микроизображений частиц природного аэрозоля различного типа. Проанализированы цифровые изображения пылевых зерен таких растений как

тимофеевка луговая, пырей ползучий и лиственница сибирская, определены их морфометрические характеристики, последующая статистическая обработка которых позволила описать их форму. На примере пыльцевого зерна лиственницы сибирской показаны возможности формирования цифровой модели видимой части поверхности пыльца по стереоскопической модели. Выполнена обработка изображений проб частиц грубодисперсной фракции атмосферного аэрозоля от различных источников: дымовой шлейф лесного пожара, угольный порошок, морской аэрозоль.

Для детального изучения микробиоценозов, морфометрии отдельных представителей насекомых и структурного анализа растений разработана технология сбора пространственных данных по трехмерным моделям, создаваемым по стереопарам цифровой съемки с близких расстояний и макросъемки. В зависимости от размеров и формы объектов предлагается использовать разные виды цифровых съемок [4]. Для гербарных образцов разработана методика горизонтальной макросъемки, а для натуральной съемки – фронтальная. В некоторых случаях одной стереопары для всестороннего охвата объекта может быть недостаточно, тогда требуется дополнительная съемка с другими ракурсами. Для того чтобы избежать увеличения числа стереопар, но при этом обеспечить полную обзорность, предложен метод съёмки с использованием бинарной зеркальной системы. В этом случае трехмерная модель изучаемого объекта восстанавливается по результатам измерения одной стереопары с изображением объекта в трех видах [5].

Разработана технология цифровой наземной стереосъемки для фиксирования динамики распространения в пространстве облака, формируемого генератором регулируемой дисперсности (ГРД). Материалы наземной стереофотосъемки позволяют, наряду с определением диффузионных характеристик, описать геометрию сложной траектории движения дымовой струи, обусловленной более медленными изменениями скорости и направления ветра в приземном и пограничном слоях атмосферы. Разработанная технология цифровой наземной стереосъемки апробирована на серии полевых экспериментов, результаты которых подтвердили эффективность применения метода цифровой наземной съемки для изучения пространственно-временного изменения геометрии искусственного аэрозольного облака [6, 7, 8].

Для совместной обработки разновременных и разномасштабных аэрофотоснимков равнинной и всхолмленной местности разработан способ цифровой плановой фототриангуляции для реализации в среде ГИС [9, 10]. Способ обеспечивает достижение необходимой точности увязки взаимного положения выделов, составляющих структуру экосистем биоценоотического и субэлементарного уровней.

Таким образом, разработанные цифровые фотограмметрические технологии могут служить эффективным инструментом сбора геопространственных данных в системе геоэкологического мониторинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цифровые камеры // Компьютер пресс. – 2002, № 4.

2. Использование фотограмметрии для определения характеристик пыли / Головки В.В., Куценогий К.П., Киров Е.И., Трубина Л.К., Гук А.П. // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 9. – С. 882 – 885.
3. Дюхина Е.И., Беленко О.А. Определение размеров и морфологии грубодисперсной фракции аэрозолей на основе компьютерного анализа микроизображений // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – т. 17, № 5-6, с. 517 - 520.
4. Трубина Л.К. Использование цифровой макросъемки для изучения биологических объектов небольших размеров // Вестник СГГА. – 2002. – Вып.7. – С.101 – 107.
5. Трубина Л.К. Цифровая стереосъемка биологических объектов с использованием зеркальной системы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2002. – № 3. – С. 92 – 100.
6. Куценогий К.П., Макаров В.И., Самсонов Ю.Н., Киров Е.И., Гук А.П., Трубина Л.К., Черемушкин А.В. Экспериментальное исследование поведения аэрозольного облака в условиях динамической неоднородности. Труды Международной конференции RDAMA-2001, 2001, т. 6, ч. 2, Спецвыпуск, с. 255 - 260.
7. Куценогий К.П., Макаров В.И., Трубина Л.К., Климашин А.М., Махов Д.Ю., Голобоков М.В. Определение геометрии дымового шлейфа от аэрозольного генератора методом цифровой стереофотограмметрии. // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 17, № 4. – С. 339 – 344.
8. Трубина Л.К., Куценогий К.П. Использование цифровой стереофотограмметрии и ГИС- технологий для описания динамической неоднородности подстилающей поверхности // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15, № 5 - 6. – С. 511 – 514.
9. Трубина Л.К. Разработка цифрового способа цифровой плановой фототриангуляции для реализации в среде ГИС // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2002. – № 1. – С. 108 – 115.
10. Трубина Л. К. Цифровая фотограмметрическая обработка снимков для получения геопространственных данных при оценке состояния экосистем // Автореф. дис. д-ра тех. н.: 25.00.34. – Защищена 20.12.02. – Новосибирск, 2003. – С.35.

© И.В. Лесных, Л.К. Трубина, 2005

УДК 528.93:528.8:634.92

Л.А. Пластинин, В.П. Ступин, Н.В. Котельникова

ИрГТУ, Иркутск

КАРТОГРАФО-КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ

Состояние окружающей среды селитебных территорий (крупных поселений и тяготеющих к ним промышленных предприятий), вследствие их компактности и близости к стационарным органам экологического контроля, постоянно находится в поле зрения последних. Этого нельзя сказать о таких экстенсивных отраслях как лесное и сельское хозяйство, а также горнодобывающее производство. Для их контроля необходим оперативный дистанционный мониторинг, в свою очередь немыслимый без картографо-космического банка данных. Теоретические и методические наработки по разработке концепции такого банка данных формировались нами в содружестве с ведущими научными и производственными картографо-геодезическими организациями Прибайкалья [1-9]. Картографическая и космическая составляющие входят в структуру мониторинга как основные сегменты наряду с информационным, программно-аппаратным и подспутниковым блоками.

Формирование картографического блока включает:

- Накопление банка исходной картографической информации;

- Составление промежуточных тематических карт;
- Ведение оперативных оценочных и дежурных карт;
- Создание прогнозных и рекомендательных карт.
- Формирование космического блока включает:
- Создание банка космических и аэро- (подспутниковых) снимков;
- Разработку методики дешифрирования и оперативной обработки материалов дистанционного зондирования;
- Создание оперативных инвентаризационных космофотокарт.

В картографический блок системы входят два подблока.

Подблок отечественных разномасштабных и разновременных топографических карт, в т.ч. цифровых. Они обеспечивают точную географическую привязку объектов и анализ пространственно-временной динамики ландшафтов. Самыми ранними из них являются стоверстные топографические карты, созданные Корпусом военных топографов в последнее десятилетие XIX века на ряд территорий Прибайкалья. В банк картографических данных также вошли карты масштаба 1:100 000, созданные ГУГК в военные и послевоенные годы по ускоренной технологии; карты масштаба 1:25 000 – 1:100 000, впервые созданные аэрофототопографическим методом по материалам аэрофотосъемок 50-60-х годов прошлого столетия; топографические карты на весь масштабный ряд, созданные военными и гражданскими топографо-геодезическими организациями в промежуток с 70-х годов прошлого века до наших дней.

Подблок подготовленных с участием авторов и изданных за последние годы XX в. специальных тематических инженерно-экологических, ландшафтно-экологических, природохозяйственных карт на наиболее освоенную часть Прибайкалья.

Блок данных дистанционного зондирования включает следующие основные материалы космических съемок за последние 20-30 лет:

- Цветные и спектрзональные снимки высокого разрешения, полученные съемочными системами КФА-1000 (КФА-3000) центральной проекции с космических носителей серии «Ресурс-Ф», как оригинального масштаба от 1:70 000 до 1:200 000, так и увеличенные до 10 раз отпечатки с них;

- Черно-белые дешифровочные снимки высокого разрешения панорамной проекции масштаба 1:200 000, полученные топографической системой «КВР-1000» с космического носителя «Комета», ставшие лишь недавно доступными гражданскому потребителю в результате конверсионной деятельности;

- Доступные для регионального пользователя оперативные сканерные съемки, в частности, получаемые Центром приема ДЗЗ ВостСибНИИГиМС. По своему пространственному разрешению они не так информативны как фотографические, но пока незаменимы для оперативного мониторинга. Среднемасштабные снимки регионального охвата и низкого разрешения, получаемые с околоземных метеоспутников NOAA позволяют организовать

систему контроля за лесными пожарами, промышленными дымами, загрязнениями снежного покрова и т.п. Крупномасштабные локальные снимки среднего разрешения, получаемые с околоземных метеорологических спутников типа «Метеор» (сканеры МСУ-СК, МСУ-Э) и Landsat» (сканеры MSS и ETM) дают возможность осуществлять контроль над лесными пожарами, определять динамику лесных и степных границ, площадей вырубок, современное состояние и структуру сельскохозяйственной растительности, отслеживать проявления эоловых, селевых, водно-эрозионных процессов, а также следить за пылегазовыми выбросами, определять динамику площадей карьеров, отвалов, хвостохранилищ, современное состояние и структуру горно-добывающих комплексов, отслеживать проявления нежелательных экзогенных геологических процессов., вызванных незначительным недропользованием.

– Радиолокационные снимки масштаба 1:200 000, полученные методом радарной съемки с синтезированной апертурой спутниками ERS и JERS в рамках международной программы «Сибирь» и материалы их компьютерной обработки, позволяющие отслеживать структуру и динамику растительного покрова.

Банк данных дистанционного зондирования также формируется за счет материалов традиционной аэрофотосъемки. Это, в основном, черно-белые изопанхроматические снимки масштабов от 1:5000 до 1:70 000, полученные топографическими АФА с фокусными расстояниями 70, 100 и 140 мм. На отдельные репрезентативные участки аэрофотосъемки имеются увеличенные отпечатки с этих снимков. Временной диапазон аэрофотосъемочных материалов охватывает последние 40-50 лет.

Проведенный нами анализ созданного банка картографо-космических данных позволил выявить некоторые основные тенденции экологического состояния сельских, лесных и горно-промышленных ландшафтов Прибайкалья.

Для большинства сельскохозяйственных территорий (особенно остепненных) характерно неустойчивое экологическое равновесие и склонность к опустыниванию. Они уже несколько веков интенсивно и не всегда рационально осваиваются человеком, что уже неоднократно приводило к возникновению различных кризисных ситуаций, обострившихся во второй половине XX века.

Первая половина XX века характеризуется незначительным возрастанием антропогенного пресса. С конца 40-х годов и до начала 90-х годов сельскохозяйственные ландшафты испытали резкое повышение антропогенной нагрузки, максимум которой пришелся на конец 80-х годов. Это особенно заметно для динамичных пастбищных, сенокосных, пахотных ландшафтов. При мониторинге таких земель надежным индикатором кризисных ситуаций является активизация эоловых, эрозионных, мерзлотных, болотных и др. экзогенных процессов.

Максимальное поголовье домашнего скота в Прибайкалье приходится на 1986-1991 гг. В это время отмечается самая большая деградация пастбищ, увеличение площади оголенных и полузакрепленных песков, активизация эоловых процессов и овражно-балочной эрозии в Байкальских котловинах,

Приольхонье и на острове Ольхон, нижнем течении Селенги. Параллельно активизируется эрозия почв, пыльные бури, обмеление рек. Увеличение площади пашен и неумеренная распашка также приводят к разубоживанию структуры почв, увеличению делювиального смыва, понижению уровня грунтовых вод.

С начала 90-х годов проявляется тенденция ослабления антропогенного пресса на ландшафты. Резко (на порядок) сокращается поголовье скота, особенно овец и коз. Неуклонно сокращаются площади пашен, многие из них переводятся в залежь. Это приводит к некоторому замедлению процессов аридизации территории, зарастанию ряда песчаных массивов и к известному оздоровлению экологической обстановки. Тем не менее ситуация в все равно далека от идеальной. В последние годы отмечается оживление социально-экономической жизни Прибайкалья, возрастают рекреационные нагрузки (особенно на Приольхонье и остров Ольхон), увеличивается пожарная опасность.

Интересны выявленные нами тренды динамики нарушенности таежных земель Прибайкалья. Так, в Приангарье до начала активного освоения лесных ресурсов в 1970-х гг, XX в. заметные нарушения тайги не распространялись далее 50 км от полосы хозяйственной освоенности. Основным бичом таежных массивов в это время являлись пожары. Начавшееся добыча леса изменила соотношение вырубок и гарей в сторону вырубок, хотя и пожары антропогенного характера распространились за этот период на большую территорию.

Промышленный спад в лесном комплексе Приангарья и ослабление противопожарной профилактики в последние годы вновь изменил соотношение вырубок и гарей, но на этот раз в пользу гарей. Сведение приречных лесов, нарушения кустарникового и дернового покрова в бассейнах рек приводит также к активизации селей, наводнений, развитию овражной эрозии, дефляции.

Из всех видов горнопромышленных работ наиболее сильное воздействие на природные ландшафты производят открытые (карьерные) разработки полезных ископаемых, когда с места страгиваются миллионы тонн горных пород. Угольные разрезы и карьеры по добыче алмазов, железных и цветных руд, строительных материалов и др. достигают десятков квадратных километров по площади и сотен метров по глубине. В процессе формирования самого карьера происходит накопление огромных объемов пород вскрыши, пустых и боковых пород, хвостов. При этом образуются новые сочетания форм рельефа и поверхностных рыхлых пород, т.е. происходит коренное изменение ландшафтов. По воздействию на растительность и почвы первоначальных ландшафтов открытые горные работы сравнимы с геологической катастрофой. Кроме того, при использовании традиционной гравитационной технологии переработки руд требуются большие объемы чистой воды, а очистка отработанных вод обычно оставляет желать лучшего. При работе карьеров и сопутствующих им горно-обогачительных фабрик также велик выброс в атмосферу пыли и газов, а дальности распространения газопылевых облаков достигают тысячи километров.

При карьерном способе добычи полезных ископаемых уничтожается почвенно-растительный слой, загрязняется воздушная среда и поверхностные воды, активизируются эрозионные процессы, ухудшается микроклимат, изменяется режим стока и обезвоживается прилегающая территория, а в районах развития многолетней мерзлоты активизируется термокарст. Территории, на которых полностью уничтожаются первоначальные ландшафты, часто на порядок превосходят площадь самого карьера, поскольку окрестности всех горных предприятий преобразованы выработками. Особенно большие площади занимают поля разработки обводненных россыпных месторождений золота дражным способом, которые приурочены к долинам рек и побережьям озер. В таежной зоне ландшафты еще могут восстановиться, но в условиях степи, лесотундры или тундры с вечной мерзлотой изменения обычно необратимы.

Не лучше ситуация и на предприятиях подземной добычи полезных ископаемых. Для территорий шахт и рудников характерно обезвоживание и изменение режима стока, широкое развитие нерекультивированных терриконов и отвалов пустой породы, загрязняющая деятельность сопутствующих обогатительных комплексов и т.п. Кроме того, при подземном способе добычи нередки прогибания, просадки и даже обрушения пород кровли шахтного поля.

Плохо обстоит дело и с рекультивацией отработанных земель, превращенных в «бедленды». Заброшенные карьерно-отвальные комплексы, имеют весьма низкую хозяйственную ценность и даже в случае закрепления их вторичной растительностью продолжают служить источниками загрязнения вод и почв.

С начала 90-х годов проявляется тенденция ослабления давления горнодобывающего производства на природу Прибайкалья. Резко сократилась добыча угля, золота, других полезных ископаемых, многие разрезы, карьеры и шахты или закрылись или работают не на полную мощность. Это привело к заметному замедлению указанных выше деструктивных процессов и, в целом, к некоторому оздоровлению экологической обстановки. Тем не менее экологическая ситуация на предприятиях горнодобывающей промышленности все равно вызывает тревогу. Более того, в последние годы отмечается оживление в сфере добычи полезных ископаемых, и техногенные нагрузки понемногу вновь начинают возрастать. При этом не отмечается параллельного роста рекультивационной деятельности предприятий горнодобывающей промышленности. На большинстве предприятий не выполняются элементарные горнотехнические мероприятия по облагораживанию созданных ими техногенных ландшафтов - выравниванию, выколаживанию откосов, покрытию поверхности плодородным слоем почвы, не говоря уже об их биологической рекультивации - посеве трав, посадке кустарников и деревьев и пр.

Таким образом, фундаментальные научные и научно-технические результаты создания системы картографо-космического мониторинга антропогенных ландшафтов Прибайкалья сводятся к следующему:

- Сформулирована методология системного подхода экологического картографирования природных условий и ресурсов Байкальского региона;

- Разработана методика комплексного картографирования природных условий (процессов и явлений) и ресурсов на основе данных дистанционного зондирования;
- Определены состав и параметры оптимальной системы формирования базы данных комплексного картографо-космического мониторинга антропогенных ландшафтов Прибайкалья;
- Отработана система оперативного космического обнаружения природных катастроф (в т.ч. пожаров) как для Байкальского региона, так и в целом для территорий таежной Сибири.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пластинин Л.А., Бардаш А.В., Клевцов Е.В., Котельникова Н.В. Современная картографо-графическая информация в решении экологических проблем Прибайкалья // Известия вузов Сибири. Вып. 2-3. - Иркутск, 1998. - С. 162 - 175.
2. Пластинин Л.А., Ващук Л.Н., Клевцов Е.В., Ступин В.П., Торосян П.Р. Новая космическая информация в оценке лесосырьевой базы Усть-Илимского ЛПК // Современные проблемы геодезии и оптики. LI научно-техническая конференция Новосибирск: СГГА, 2001а. – С. 123 - 125.
3. Пластинин Л.А., Ващук Л.Н., Клевцов Е.В., Ступин В.П., Торосян П.Р. Картографирование лесов Сибири с использованием новых материалов спутниковых радарных съемок // География на рубеже веков. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2001б. - С. 221 - 222.
4. Пластинин Л.А., Батуев А.Р., Клевцов Е.В., Котельникова Н.В., Ступин В.П. Картографо-космическая система комплексного мониторинга природных ресурсов в геосистемах байкальского региона // Дистанционные исследования и картографирование структуры и динамики геосистем. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. - С. 51-54.
5. Пластинин Л.А. Региональное экологическое картографирование Сибири (на примере Прибайкалья и Забайкалья). Автореферат доктор. дис. Новосибирск, 2000. – 40 с.
6. Батуев А.Р. Картографическое обеспечение регионального развития. Автореферат доктор. дис. Москва, 2003 г. – 40 с.
7. Ступин В.П. Экзоморфосистемы Приольхонья и их картографирование по материалам дистанционного зондирования. Автореферат канд. дис. Иркутск, 2002. – 20 с.
8. Котельникова Н.В. Мониторинг ландшафтов Тункинской ветви котловин (Прибайкалье). Автореферат канд. дис. Иркутск, 2003. – 20 с.
9. Пластинин Л.А., Бардаш А.В., Батуев А.Р., Кириченко Ю.А., Клевцов Е.В., Котельникова Н.В., Плюснин В.М., Ступин В.П., Торосян П.Р. Дистанционное зондирование и экологическое картографирование в космическом мониторинге таежных экосистем Прибайкалья. // География и окружающая среда – Санкт-Петербург: Наука, 2003 г. – С. 659 - 661.

© Л.А. Пластинин, В.П. Ступин, Н.В. Котельникова, 2005

УДК 551.4.042 (571.5)

В.П. Ступин

ИрГТУ, Иркутск

КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МОРФОСИСТЕМ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

Топографические карты, созданные понимающими рельеф профессионалами, являются мощным орудием исследования [1-4]. Грамотная

«укладка» горизонталей, продуманный характер их замыканий и изгибов, использование полугоризонталей, условных знаков, осмысленная генерализация отсутствуют на картах, составленных методами машинной рисовки. Это относится и к анализу карт, выполненному автором при исследовании морфосистем Байкальского рифта – динамичных комплексов рельефа, в которых все компоненты находятся в системной связи друг с другом и окружающей средой [5]. Знание структуры и функционирования морфосистем позволяет прогнозировать их реакцию на антропогенное воздействие и организовать мониторинг таких систем.

Ключевыми таксонами морфосистем регионального уровня являются округа, приуроченные к морфоструктурам. Им присущи единые поля потенциальной денудации, общие базисы эрозии, целостная морфоскульптура, система высотной поясности, каскады потоков вещества и энергии. Методической основой выделения округов является концепция блокового строения земной коры, согласно которой сетка разрывов разного ранга разбивает тектоносферу на отдельные глыбы [6]. Выраженные в рельефе и ограниченные разломами блоки и являются морфоструктурами.

Основные блоки выделяются уже при визуальном анализе серии разномасштабных карт. Блоки выявляются по прямолинейным или слегка искривленным элементам содержания карт - линеаментам. Таковыми являются: подножия склонов; спрямленные участки долин, перегибы скатов; резкие изменения высот террас; расположение притоков на одной линии; коленообразные изгибы долин; линейное расположение седловин и уступов соседних гряд; резкое увеличение уклонов. Менее надежна конфигурация горизонталей, изгибы рек и ручьев, направление их течения, цепочки озер, болот, ландшафтные выделы. Лучше выделять блоки по ряду признаков – приуроченности русел к линиям, разъединяющим разновысотные участки; различиям рельефа и перепадам высот; разнице высот и приуроченности к одной линии спрямленных русел; разнице высот и рисунку горизонталей; спрямленным участкам, подчеркнутым растительностью и т.п.

Признаки поднятий: сужения долин и террас; уменьшение числа и высот террас; аномально большие уклоны; узкие врезы; положительные перегибы тальвега; уменьшение извилистости; врезанные меандры; появление дополнительных террас; выпуклые деформации террас; антецедентные и висячие долины; центробежный и радиальный рисунок речной сети; крупные изгибы (луки) русел; вложенные трог; высокий крутосклонный рельеф; аномально высокое положение каров; лестницы выровненных поверхностей; увеличение глубины вреза рек, густоты оврагов.

Признаки опусканий: расширение долин и террас; их выклинивание и слияние; уменьшение высоты террас и уклона русла; увеличение извилистости, свободные меандры; центростремительный рисунок гидросети; смещение рек в сторону депрессий; многочисленны озера и болота; аномально низкое положение каров; слияние поверхностей выравнивания; уменьшение глубины вреза и густоты гидросети.

Для выявления неявных разрывных нарушений определены статистические показатели линияментов [7]:

- Плотность линияментов $k_1 = n_1/S$, где n_1 – общее количество линияментов; S – площадь;
- Суммарная длина линияментов $k_2 = \Sigma L/S$, где L – длина линияментов;
- Плотность узлов пересечения линияментов $k_3 = n_2/S$, где n_2 – общее количество узлов пересечения линияментов.

По топографическим картам составлены производные карты [8]: базисных поверхностей, проходящих на уровне тальвегов долин; остаточного рельефа – результат вычитания базисной поверхности из гипсометрической; вершинной поверхности, полученные по отметкам водоразделов; сноса – результат вычитания топоосновы из карт вершинной поверхности; разности базисных поверхностей, составленные последовательным графическим вычитанием поверхностей высших порядков из поверхностей низших порядков; морфоизогипс, полученные соединением положительных выступов одноименных горизонталей. Минимальная величина вертикального расчленения, которой можно пренебречь составляет [9]:

- Для молодых горных систем – 200м;
- Для эродированных горных систем и среднегорья – 100м;
- Для всхолмленных возвышенностей и молодых прогибов – 50м;
- Для эрозионных и аккумулятивных равнин – 20-25м.

Наложением карты вершинной поверхности на карту базисной поверхности построены карты экзогенно-активного слоя [10]. В соответствии с предложенной ниже градацией углов наклона, составлены карты крутизны склонов и интегральные карты экспозиции и крутизны склонов, позволяющие рассчитать отклонения распределения солнечной энергии [11].

В формуле потенциальной энергии морфосистем $Wd = h \cdot \tan \alpha$ совместно учтены высота элементарного склона h и его крутизна α . За единицу измерения h удобнее принять 1 м, тогда полученные величины Wd сопоставимы с единицей Бубнова (Б), равной скорости денудации в один мм за тысячу лет. Высоты распределены по следующей шкале [12]:

0-200 м. Днища котловин и крупных долин, также участки выровненных вершинных поверхностей;

200-500 м. Низкогорья с мягко очерченными вершинами и абсолютными высотами 500-1000 м;

500-800 м. Средние горы с абсолютными высотами 1000-2000 м, глубоко расчлененные с отдельными ледниковыми формами.

800-1000 м. Высокие горы с абсолютными высотами более 2000 м, глубоко расчлененные и с многочисленными ледниковыми формами.

Шкала крутизны склонов составлена нами с учетом ведущих экзогенных процессов [13] и включает:

склоны до 2°: мобилизация и местное перемещение вещества; очагами – процессы эоловой дефляции и аккумуляции;

2°-8°: медленные массовые движения грунтов; очагами - эоловые процессы, наледи; локально - аккумуляция рек и временных водотоков;

8°-15°: плоскостной смыв, медленные массовые движения грунтов; очагами – наледи; локально – водная эрозия и аккумуляции;

15°-25°: медленные массовые смещения грунтов, очагами – быстрые склоновые процессы, локально - водная эрозия, сели;

25°-35°: гравитационно-склоновая аккумуляция, массовые смещения грунтов, очагами – гравитационно-склоновая денудация, блоковые оползни, локально - водная эрозия, сели;

>35°: гравитационные, нивальные; локально - ледниковые процессы.

Результаты расчетов сведены в таблицу:

Тип рельефа	h	α	$\text{tg } \alpha$	$Wd_{\min}$	$Wd_{\max}$	Wd_{cp}	Wd_{cp}
Днища котловин и долин, вершинные поверхности	100-200	до 2°	0,04	4	8	6	22
		2°-8°	0,14	14	28	21	
		8°-15°	0,27	27	54	40	
Низкие горы 500-1000 м	200-500	2°-8°	0,14	28	70	49	102
		8°-15°	0,27	54	135	94	
		15°-25°	0,47	94	235	164	
Средние горы 1000-2000м	500-1000	8°-15°	0,27	135	270	202	360
		15°-25°	0,47	235	470	352	
		25°-35°	0,70	350	700	525	
Высокие горы Более 2000м	1000-1500	15°-25°	0,47	470	706	588	838
		25°-35°	0,70	700	1050	675	
		> 35°	1,00	1000	1500	1250	

Из таблицы видно, что потенциальная энергия денудации изменяется от равнин к горам от величин близких к нулю до 1000 и более единиц, а в среднем варьирует от 22 до 838. Такой диапазон имеет хорошую корреляцию с вычисленными в единицах Бубнова средними скоростями денудации для различных районов мира. По С.Шумму [14] скорость денудации равнин равна 72 Б, а горных областей 915 Б; по Б.А.Юнгу [15] - соответственно 46 и 500 Б; Р.Олиеру [16] - 50 и 500 Б. По данным Б.П.Агафонова [17] денудация в горах Прибайкалья достигает 1 мм/год (1000 Б).

Наложение карты крутизны склонов на карту вертикального расчленения позволило составить итоговую карту изопотенциалов поля денудации. Матричной легендой этой карты является приведенная выше таблица.

Округа морфосистем подразделены на районы по бассейновому признаку. Бассейны представляют собой условно автономные системы нисходящего литопотока, являющегося сущностью экзоморфогенеза [18]. В пределах бассейнов расположены парагенезы склонов долин [19] и стволые водотоки, выносящие поступающий материал за пределы района.

Анализ морфометрии бассейнов удобен для количественного описания и сопоставления бассейнов, исследования закономерностей их формирования, функционирования и развития. [20, 21]. Их ранжирование выполняется способами Хоротона [22], Штралера [23] или Шреве [24] из которых мы предпочли второй. Успех ранжирования зависит от исходных карт. Так, на картах масштабов 1:50 000 показаны все реки, на картах 1:100 000 уже с

разрежением, 1:200 000 – только реки более 2км, 1:500 000 – более 7,5 км. На картах масштаба 1:100 000 показано только 60-70% водотоков I порядка, на карте 1:200 000 нет водотоков I порядка, а на карте 1: 500 000 большинства водотоков II порядка.

После ранжирования выполнен Хортон-анализ бассейнов [25]. Определены первичные и производные характеристики бассейнов – площадь, длина, ширина, сумма длин водотоков, ориентация, уклоны, а также их различные коэффициенты - формы, компактности, удельной длины, однородности, изрезанности. Анализ выполнялся как в плоском, так и в трехмерном пространстве. В первом случае бассейны сравнивались по отношению числа потоков одного порядка к числу потоков более высокого порядка, отношению средних длин потоков бассейнов и отношению средней площади. Все три отношения близки к геометрическим прогрессиям, что позволило определить коэффициенты зависимостей. Построены усредненные бассейны для разных округов и оценены сходства и различия между ними [26]. Горизонтальное расчленение бассейнов позволило определить обратное отношение - постоянную русловой непрерывности, необходимую для определения площади водосборов, приходящихся на единицу длины русла. Получены длины поверхностного стока – двойные значения дренажной плотности. Форма бассейнов оценивалась сравнением кругом.

Третье измерение – высота позволило рассчитать вертикальное расчленение и уклоны, и выявить их зависимость от порядка рек. Эти показатели в целом логарифмически обратно-пропорциональны порядку реки.

Использование усредненных бассейнов упрощает вычисления объемов остаточного и снесенного рельефа в бассейнах для оценки динамики системы, совмещение интегральных графиков разных систем позволяет выполнить их сравнительный анализ. По крупномасштабным картам далее выделяют подрайоны морфосистем – водосборные, долинные и, наконец, самые дробные таксоны – элементарные морфодинамические поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов А.И. Рельеф и его изображение на топографических картах. – М.: Изд-во РИО ВТС, 1953. – 147 с.
2. Спиридонов А.И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. – М., 1970. – 456 с.
3. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. – М., 1986. – 240 с.
4. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. – 2-е изд. - М.: Изд-во МГУ, 1988. – 252 с.
5. Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 252 с.
6. Хаин В.Е. Общая геотектоника. – М.: Недра, 1973. – 512 с.
7. Ревзон А.Л. Камышев А.П. Природа и сооружения в критических ситуациях. – М.: «Триада, Лтд», 2001. – 207 с.
8. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. - Изд. Саратовск. ун-та, 1960. - 125 с.
9. Орлова А.В. Подвижная мозаика планеты. – М.: Недра, 1981. – 119 с.
10. Леви К.Г. Вертикальные движения земной коры в Байкальской рифтовой зоне // Проблемы разломной тектоники. – Новосибирск: Наука, 1981. - С. 142 - 170.

11. Червяков В.А. Современная морфометрия как метод изучения горных стран (состояние и перспективы) // Горы и человек. В поисках путей устойчивого развития. – Барнаул, 1996. – С. 42 - 44.
12. Ступин В.П. Оценочное экологическое картографирование экзоморфосистем острова Ольхон. – Новосибирск: Изд-во СГГА, 2003. – С. 45 - 46.
13. Выркин В.Б. Классификация экзогенных процессов рельефообразования суши // География и природ. ресурсы. – 1986. - №4. – С. 20 - 24.
14. Schumm S.A. The disparity between present rates of denudation and orogeny // U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. – 1963. – 454 -Н.
15. Young A. Present rate of land erosion. – Nature, 224. - 1969. – P. 851 - 852.
16. Олиер К. Тектоника и рельеф. М.: Недра, 1984. - 460 с.
17. Агафонов Б.П. Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск: Наука, 1990. – 176 с.
18. Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. – М.: Наука, 1978.-238 с.
19. Ивановский Л.Н. Парагенез и парагенезис горного рельефа юга Сибири. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2001. – 142 с.
20. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – М., 1948. – 158 с.
21. Червяков В.А. Количественные методы в географии – Барнаул, 1998. - 259 с.
22. Horton R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrological approach to quantitative morphology // Bull. geol. Soc. Am., 1945.-56. – pp. 275-370.
23. Strahler A.N. Hypsometric analysis of erosional topography // Bull. geol. Soc. Am., 1952. - 63. – pp. 923-938.
24. Shreve R.L. Infinite topologically random channel networks // J. Geol., 1975. – 75. – pp. 178 - 186.
25. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. – М.-Смоленск: Изд-во Смоленск. гуманитарн. ун-та, 1998. – 272 с.
26. Selby M.J. Aspects of the geomorphology of the greywacke ranges bordering the lower and middle Waikato basins // Earth Sci. J., 1967. – 1. – pp. 1-22.

© В.П.Ступин, 2005

УДК 630.52:587/588

И.М. Данилин

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Е.М. Медведев

Компания «Геокосмос», Москва

А.И. Данилин, К.С. Коневина

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И ЦИФРОВАЯ АЭРОСЪЕМКА – НОВАЯ ПЕРСПЕКТИВА ЛЕСОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ТАКСАЦИИ ЛЕСА

Авиационное лазерное сканирование и цифровая аэро- и космическая съемка являются составной частью новейших методов и технологий геоинформатики и цифровой фотограмметрии и находят сегодня применение во многих отраслях, а также в решении различных задач лесоэкологического мониторинга, разрабатываются во многих странах и по показателям точности и экономической эффективности превосходят другие, известные на сегодняшний день, дистанционные методы изучения и измерения параметров земной поверхности и лесного покрова.

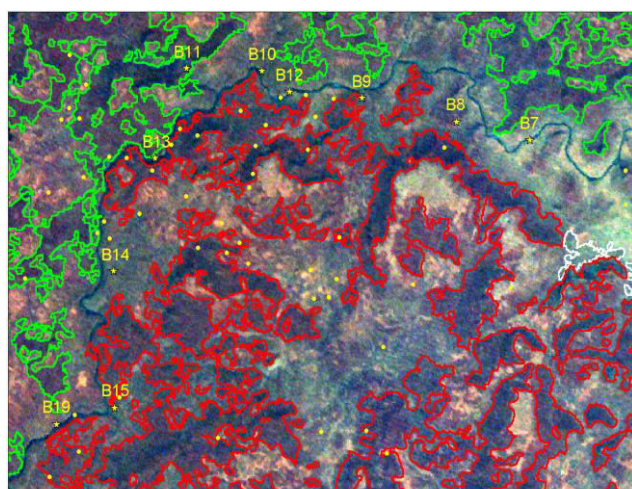
Современные авиационные лазерные сканирующие системы интенсивно развиваются и имеют частоту сканирования до 100 тыс. импульсов (измерений) в секунду. Наибольшая плотность точек сканирования при этом составляет 1 точка на 5-7 см поверхности, а точность измерения геометрических параметров наземных объектов и морфоструктурных элементов лесной растительности в плановой и профильной проекциях составляют порядка $\pm 5-10$ см. Точность спутникового позиционирования контуров линий и границ лесных массивов, лесотаксационных выделов, пробных площадей, отдельных деревьев и морфоструктурных элементов их стволов и крон, в том числе и в подпологовом пространстве, практически не ограничена и определяется только техническими характеристиками приемных устройств [2, 6].

В ряде работ, выполненных ранее в нашей стране и за рубежом, было показано, что точность оценки древесного запаса и биомассы леса (одних из наиболее важных показателей при мониторинге структуры и состояния лесного покрова), в том числе дистанционными методами, можно повысить до 3-5% с использованием морфологической классификации деревьев и взаимосвязей между таксационными и морфологическими признаками древостоев [1-3, 5, 7-9, 11].

Наши исследования, проведенные в подзоне сибирских среднетаежных лиственнично-елово-кедровых лесов, местами в сочетании с березняками и сфагновыми болотами в Южной Эвенкии и Туруханском районе Красноярского края ($63^{\circ}-64^{\circ}$ с.ш., $89^{\circ}-91^{\circ}$ в.д.) показывают, что наиболее достоверно и точно, структура и фитомасса лесных насаждений определяются по характеристикам рядов распределения деревьев по основным морфометрическим признакам – диаметру и высоте стволов, вертикальной и горизонтальной протяженности крон, которые, в свою очередь, взаимосвязаны и тесно коррелированы во всех случаях [2].

Построение рядов распределения деревьев по морфометрическим показателям традиционно предполагает выполнение время- и трудоемких наземных измерений и перечетов (сплошных или выборочных), которые, во многих случаях, требуют значительных финансовых затрат. Вместе с тем, метод воздушного лазерного сканирования лесного покрова, интегрированный с цифровой аэро- и космической съемкой среднего, высокого и сверхвысокого (субметрового) разрешения, позволяет выполнять «подеревную» инструментально-измерительную таксацию на основе прецизионной спутниковой геодезии и детальной топографической съемки, изучать горизонтальную и вертикальную структуру лесов, реконструировать ряды распределений деревьев по любому морфоструктурному показателю, вычислять искомые таксационные показатели и лесную биомассу в автоматическом режиме с высокой точностью и эффективностью, на достаточно больших площадях и при минимуме затрат времени и средств.

Средствами пространственной и детальной визуализации изображения лесного покрова и основой для предварительного трассирования маршрутов авиационной лазерной и цифровой аэрофотосъемки и проведения измерений на наземных пробных площадях и полигонах, являются спутниковые изображения, полученные в системах Ресурс, Landsat, Ikonos и Quick Bird II, дешифрованных по основным параметрам и характеристикам лесной растительности (рис. 1, 2). Структура, объемные показатели стволов и фитомасса деревьев и древостоев определяются по лазерно-локационным данным («лазерным портретам»), интегрированным с цифровыми геотрансформированными ортофотоснимками и видеоизображениями, на основе цифровой модели местности (ЦММ) и поля распределения лесного полога, которые генерируются из исходных данных лазерной локации способом фильтрации импульсов сканера, отраженных от земной поверхности и лесной растительности, путем интерполяции точек земли, с последующей триангуляцией точек растительности в системе дифференциального спутникового позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) (рис. 3, 4).



р. Бахта 15.09.2000 г. М 1 : 500 000

- 15 Сибирские северотаежные лиственнично-елово-кедровые леса, местами в сочетании со сфагновыми болотами
- 16 Сибирские среднетаежные елово-пихтово-кедровые леса, местами в сочетании со сфагновыми болотами и березняками
- B7 Локализация наземных пробных площадей и снимков высокого (1 м) разрешения

Рис. 1. Спутниковый снимок Ресурс МСУ-Э



Рис. 2. Compaq iPAQ PocketPC для работы со спутниковыми изобра-

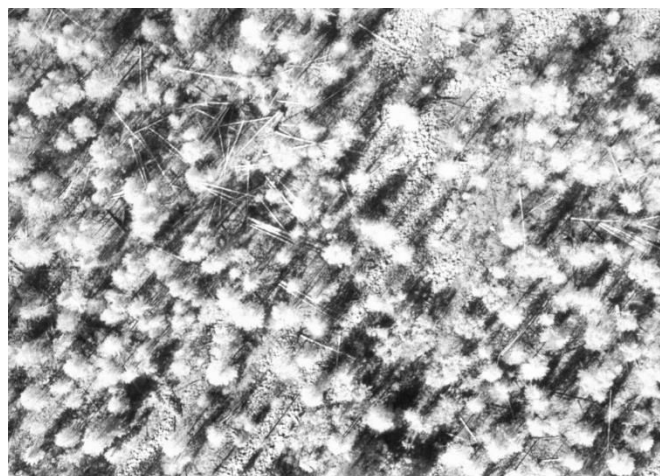


Рис. 3. Цифровой True Color геотрансформированный аэрофотоснимок участка лазерного трансекта в Красноярском крае (координаты центра фотографирования – $63^{\circ}34'47.3''$ с.ш., $90^{\circ}42'11.2''$ в.д.) с реальным геометрическим разрешением на местности 15 см выполненный системой ADS40 Leica Geosystems

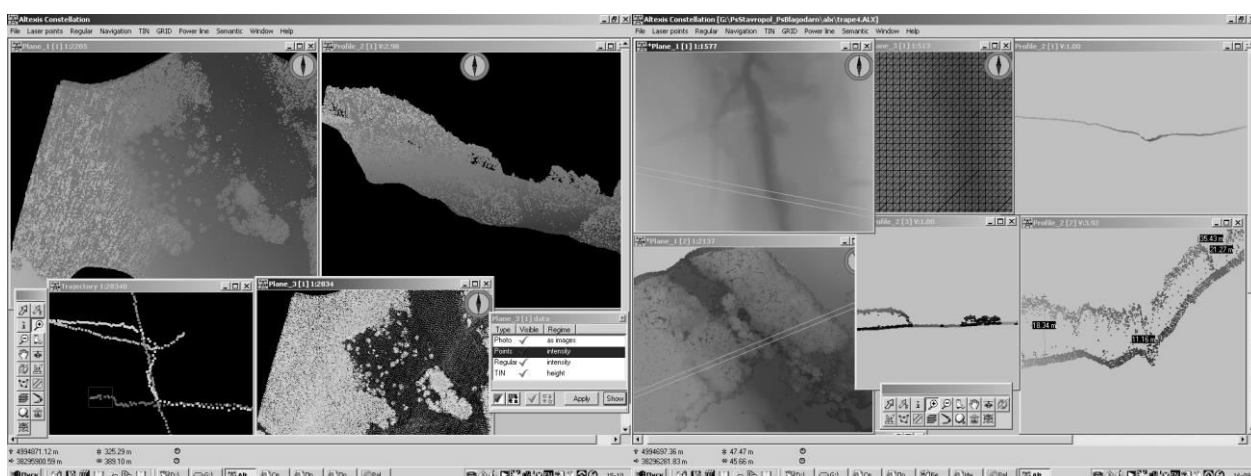


Рис. 4. Визуализация лазерно-локационных данных, выделение коридоров и измерение параметров лесной растительности в плановой и профильной проекциях Altaxis 2.0

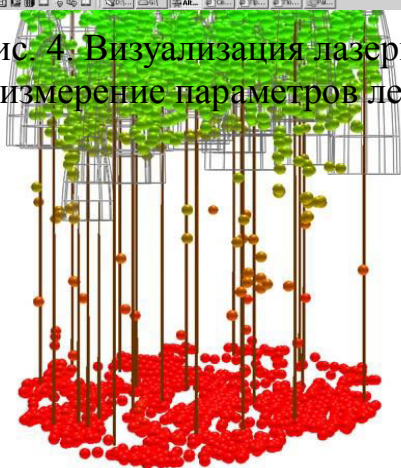


Рис. 5. Трехмерная цифровая реконструкция структуры древостоя по лазерно-локационным данным

При обработке и анализе лазерно-локационных данных и цифровых снимков используются методы математической морфологии, оперирующей понятиями теории множеств и нечетких множеств [2, 10].

Плановая цифровая аэросъемка и цифровая (лазерная) модель лесного полога позволяют получать детальные координаты и морфоструктурные характеристики деревьев средствами трехмерной компьютерной графики и визуализации с использованием программных продуктов Altaxis 2.0, ArcView Spatial & 3D Analyst, или другими, известными на сегодняшний день средствами (рис. 5).

Следует отметить, что методы построения ЦММ лесных территорий и определения по ним лесотаксационных показателей на сегодняшний день не унифицированы, различны у разных авторов и отличаются существенным разнообразием подходов, используемого программно-математического аппарата и эффективностью решений [2, 8, 9].

Результаты наших исследований показали, что морфометрические, объемные и весовые характеристики деревьев и древостоев тесно коррелированы между собой. При этом объемные и весовые показатели деревьев с достаточно высокой точностью аппроксимируются аллометрическими функциями через их морфоструктурные признаки – горизонтальную и вертикальную протяженность крон, диаметры стволов и высоту деревьев (рис. 6).

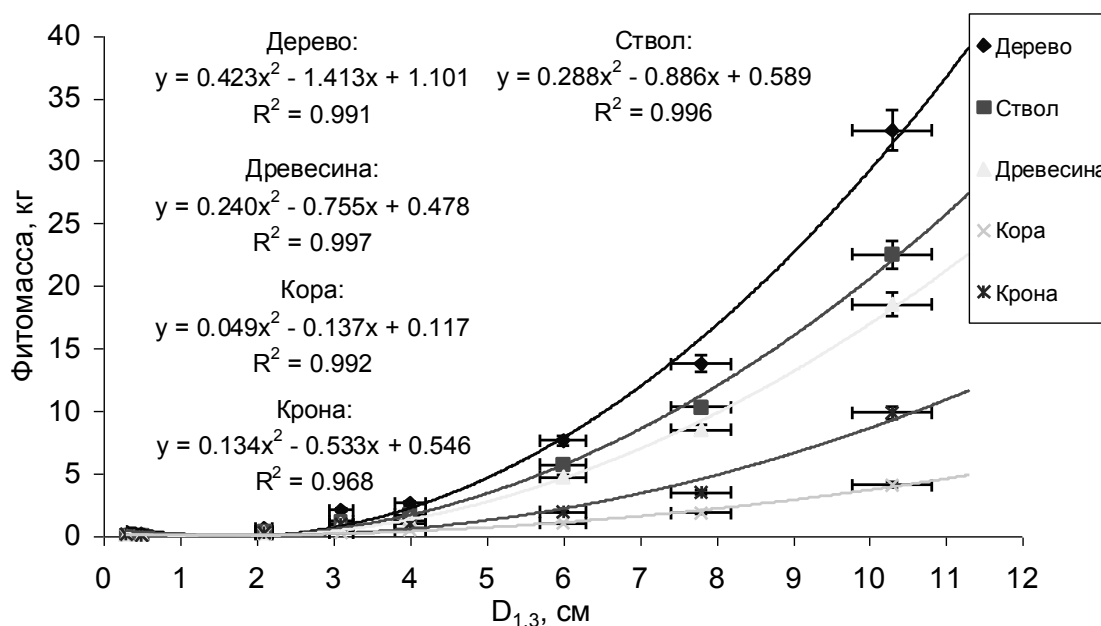


Рис. 6. Изменение фитомассы модельных деревьев лиственницы по фракциям в зависимости от диаметра ствола (Южная Эвенкия)

При лазерном сканировании оценка запасов древесины и фитомассы леса, в каждом конкретном случае сводится к установлению базовых закономерностей изучаемого объекта и определению соотношений между объемами стволов, фитомассой и их высотой и диаметрами стволов и крон, которые, в свою очередь, составляют 87-99% объясненной изменчивости различных фракций фитомассы (стволов деревьев, скелета крон и хвои).

Результаты практической апробации метода авиационного лазерного сканирования в сочетании с цифровой аэро- и космической съемкой высокого и сверхвысокого разрешения, спутниковой навигацией и геопозиционированием, интегрированных в геоинформационных системах, свидетельствуют о высокой перспективности его использования для целей анализа и моделирования структуры лесного покрова, лесоинвентаризации и оперативного экологического мониторинга бореальной зоны. Метод позволяет проводить дистанционную таксацию лесов с высокой эффективностью, при минимуме наземных работ и значительной экономии времени и финансовых средств.

Экономическая эффективность метода обеспечивается принципиальным повышением точности результатов измерений и возможности их повторимости (проверки), а также значительным снижением трудоемкости и сложности выполнения работ (как полевых, так и камеральных дешифровочных) за счет высокого уровня автоматизации обработки данных, получаемых при лазерной съемке. Объем полевых работ при этом значительно сокращается и необходим лишь для калибровки результатов лазерного сканирования и поддержки интер-активного дешифрирования (табл.).

Таблица. Экономическая эффективность метода лазерной таксации леса по укрупненным показателям (в расчете на 100 тыс. га, III разряд лесоустройства)

Традиционные технологии			Лазерная таксация	
Виды работ	Стоимость, тыс. руб.		Виды работ	Стоимость, тыс. руб.
	Наземное лесоустройство	Наземная таксация с камеральным дешифрированием аэрофотоснимков		
Аналоговая аэрофотосъемка М 1:25000, с печатью аэрофотоснимков	450	150	Лазерная, цифровая аэро- и видеосъемка с обработкой и представлением данных	1500
Подготовительные	352	352	Подготовительные	100
Полевые	3862	1800	Полевые	300
Камеральные	150	150	Камеральные	100
ИТОГО:	4814	2452	ИТОГО:	2000
В переводе на 1 га, руб.	48.1	24.5	В переводе на 1 га, руб.	20
Превышение стоимости по сравнению с лазерной таксацией, в переводе на 1 га, руб.	+28.1	+4.5		0

Лесная таксация, таким образом, из рутинной и трудоемкой операции превращается в высокотехнологичный и творческий процесс и становится количественной основой для лесоэкологического мониторинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верхунов П.М. Изменчивость и взаимосвязи таксационных показателей в разновозрастных сосняках. Новосибирск: Изд-во Наука, Сиб. отд-ние, 1975. 206 с.
2. Данилин И.М. Морфологическая структура, продуктивность и дистанционные методы таксации древостоев Сибири: Автореф. дис. докт. с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2003. 35 с.
3. Данилин И.М. Структура и биопродуктивность фитоценоза *Betula platyphylla* Susacz. на южном пределе бореальных лесов Евразии. География и природные ресурсы, 1992, 3. С. 132-136.
4. Данилин И.М., Свезда Т. Лазерное профилирование лесного полога. Лесоведение, 2001, 6. С. 64-69.
5. Каплунов В.Я. Сопряженность распределений деревьев по поперечнику крон и диаметру стволов. Лесоведение, 2001, 3. С. 63-69.
6. Медведев Е.М., Григорьев А.В. С лазерным сканированием на вечные времена. Геопрофи, 2003, 1. С. 5-10.
7. Holmgren J., Nilsson M., Olsson H. Estimation of tree height and stem volume on plots using airborne laser scanning. For. Sci., 2003, 49(3): 419-428.
8. Kraus K., Pfeifer N. Advanced DTM generation from lidar data. Int. Arch. Photogram. Rem. Sens., 2001, Vol. XXXIV-3/W4, pp. 23-30.
9. Maltamo M., Tokola T., Lehtikainen M. Estimating stand characteristics by combining single tree pattern recognition of digital video imagery and a theoretical diameter distribution model. For. Sci., 2003, 49 (1): 98-109.
10. Matheron G. Filters and lattices. Image Analysis and Mathematical Morphology, Vol. 2 / J. Serra ed., Theor. Adv., Chpt. 6., Acad. Press, Inc., 1988.
11. Means J.E., Acker S.A., Fitt B.J. et al. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning lidar. Photogram. Eng. & Rem. Sens., 2000, 66 (11): 1367-1371.
12. White J.D., Running S.W., Nemani R. et al. Measurement and remote sensing of LAI in Rocky Mountain montane ecosystems. Can. J. For. Res., 1997, 27 (11): 1714-1727.

© И.М. Данилин, Е.М. Медведев, А.И. Данилин, К.С. Коневина, 2005

ГУМУС В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В настоящее время почва в целом усиленно подвергается различным антропогенным воздействиям. Это - распашка земель, вырубка лесов, пожары, изъятие земель под строительство и при добыче минерального сырья открытым способом. Эти виды деятельности, прежде всего, вызывают количественные потери органического и минерального вещества почвы. Количественные и качественные изменения гумуса происходят и от многих других видов воздействий. Это - выбросы промышленных предприятий, кислотные дожди, тяжелые металлы, стоки промышленных и сельскохозяйственных предприятий, ненормированные количества минеральных удобрений и ядохимикатов. В конечном счете, все виды антропогенных воздействий изменяют почву как физическую и химическую среду обитания живых организмов. Любое антропогенное воздействие ведет к сокращению биоразнообразия и ослаблению экологических функций почв.

Наиболее уязвимой в результате этих воздействий оказывается органическая часть почвы – все формы живого вещества, продукты его разложения после отмирания, а также само сформировавшееся органическое вещество почвы. Основная часть его, как известно, представлена гумусом. С одной стороны, гумусовые вещества в значительной мере обуславливают устойчивость почв к антропогенному прессу, выполняя при этом природоохранную функцию. Эта функция обеспечивается благодаря тому, что гумус в целом как система полимерных полидисперсных гетерогенных и гетерохронных (разновозрастных) соединений является и хроматографической системой, связывающей попадающие в почву минеральные удобрения, тяжелые металлы, гербициды, поверхностно-активные вещества и многие другие загрязнители промышленных и сельскохозяйственных предприятий. С другой стороны, выполняя природоохранную функцию, т.е. уравнивая воздействие вышеуказанных агентов, гумусовые вещества сами подвергаются воздействию этих же агентов, при этом они убывают количественно и гораздо реже восполняются, а также изменяются по своей структуре и функциям. Все виды антропогенного воздействия приводят не только к потерям гумуса, но и к изменению его природы. И лишь незначительное число воздействий на почву оказывается безопасным по отношению к почвенному гумусу. Чтобы прогнозировать дальнейшую судьбу гумуса в целом, необходимо четко представлять механизмы взаимодействия его компонентов с тем или иным агентом, поступающим в почву либо как мелиорант, либо загрязнитель. Например, известкование кислых почв или гипсование щелочных представляют собой давно известные приемы улучшения свойств почвы и ее гумусового состояния, современной науке точно известен механизм взаимодействия известии или гипса с почвенно-поглощающим комплексом. Итак, в почвенно-экологическом отношении известкование и гипсование – безопасные приемы. Небезынтересен, но менее ясен механизм взаимодействия различных

минеральных удобрений с почвой и особенно с ее гумусовой части. В этом случае необходимо знать не только химические свойства каждого удобрения, но и представлять основную картину химизма самой почвы. В экологическом плане опасны удобрения, которые могут при гидролизе в почве давать щелочную реакцию, в условиях которой, как известно, способна растворяться и переходить в подвижное состояние половина гумсаовых соединений почвы. Значит, в таком случае неизбежен вынос почвенного гумуса за пределы почвенного профиля, особенно в условиях промывного водного режима. Вместе с тем гидролитически кислые удобрения (сульфат аммония, хлорид аммония, хлорид калия, нитрат аммония) с гумусовыми кислотами не взаимодействуют и не вызывают негативных последствий, но при ненормированном внесении происходит их физическая сорбция и загрязнение органоминеральных коллоидов.

Эти незначительные из многих примеры показывают, что минеральные соли, отличаясь разнообразным химизмом, в одних случаях могут оказывать стабилизирующее действие на систему гумусовых веществ, в других, наоборот, могут “расшатывать” ее. Таким образом, при использовании минеральных удобрений необходимо принимать во внимание не только потребность в них культур, но и неодинаковое отношение к ним гумусовой части почвы.

За счет комплексообразующей способности гумусовые кислоты связывают в комплексы тяжелые металлы и радионуклиды. Дезактивирующая роль соединений гумуса проявляется и по отношению к многим синтетическим органическим соединениям, которые при разных обстоятельствах могут поступать в почву. Наиболее опасны моющие средства, которые подавляют активность почвенной биоты. Кроме того, они в большинстве своем создают в почве щелочную реакцию, в условиях которой повышается растворимость и подвижность гумусовых кислот.

Небезразлично отношение гумусовых кислот и к большинству пестицидов, которые имеют в своем составе бензольные кольца и, следовательно, обладают сродством с гумусовыми кислотами. И в тех и других соединениях имеются функциональные группы, которые в значительной степени обуславливают их взаимодействие. Имеет место также сорбция ксенобиотиков гумусовыми кислотами [1], образование соединений по типу катионного обмена, взаимодействие между аминок группой гербицидов и карбоксильной группой гумусовых веществ [2]. Этими же авторами указана возможность образования соединений по типу сложных эфиров, за счет водородной связи и сил Ван-дер-Ваальса. Продолжительное пребывание гербицидов в почве объясняется именно их способностью образовывать устойчивые продукты взаимодействия с гумусовыми веществами, что препятствует их биodeградации.

Однако самое сильное воздействие на содержание и природу гумуса оказывает использование почв в длительной земледельческой практике. Известно, что наиболее значительные изменения запасов гумуса и даже изменение природы его составляющих происходит в результате распашки почв, которая в любом случае вызывает усиление биологического окисления (минерализации) всего органического вещества. Вместе с тем образование

промежуточных твердых продуктов разложения, служащих источником гумуса, замедляется, а газообразных (углекислоты, молекулярного азота и его оксидов и др.) продолжает идти. Кроме того, количественное уменьшение гумуса сопровождается изменением его качественного состава и структуры компонентов. Значительным потерям гумуса способствуют эрозионные процессы, интенсивность которых, как правило, возрастает с увеличением срока использования пашни. Гумусовое состояние и в целом статус старопахотных почв изменяются также и при орошении вследствие усиления активности микрофлоры и процессов разложения органического вещества.

Проблема потерь гумуса из пахотных почв и предотвращения их в настоящее время одна из нерешенных. Это связано с тем, что гумус – сложная многокомпонентная система природных органических соединений, а механизм и процессы, которые определяют функционирование этой системы, еще не изучены обстоятельно. Многочисленные литературные сведения, в том числе и наши исследования [3], показывают, что максимальные потери гумуса во всех случаях происходят за первые три десятилетия, особенно, если нет сильного проявления эрозии почв. Вместе с тем, как показано в данном обзоре, содержание гумуса на новом уровне не стабилизируется даже через 90-100 лет. Таким образом, потери могут идти постоянно в течение длительного времени. В черноземах Западной Сибири, например, максимальные общие потери гумуса к настоящему времени также не превышают 30% однако следует отметить что большая часть их представлена потерями за счет эрозии, о чем свидетельствуют данные о выносе органического углерода с талыми водами и твердой фазой [4]. Таким образом, в Западной Сибири в силу относительной молодости земледелия потери не достигли критических размеров, поэтому предотвращение дальнейших потерь гумуса представляется возможным. Потери гумуса из старопахотных почв четко связаны с его исходным содержанием в целинных почвах. Такая связь наиболее наглядно иллюстрируется данными для ряда почв с различным содержанием гумуса, но с одинаковой продолжительностью использования их в пашне (таблица). Во всех нижеприведенных случаях были подобраны варианты участков, не подверженных эрозии, и без применения удобрений.

Таблица. Потери гумуса из почв с 30-летним сроком использования их в пашне (Кленов, 2000)

Гумус в слое 0-20 см целинной почвы, %	Потери гумуса			
	За весь период		в среднем за год	
	т/га	%	т/га	%
<i>Черноземы обыкновенные</i>				
7,7	71	19	2,4	0,6
<i>Черноземы южные</i>				
4,2	20	13	0,7	0,4
<i>Кашитановые почвы</i>				
1,1	3,3	3,2	0,1	0,1

Приведенные данные показывают, что абсолютные и относительные величины потерь гумуса из старопашотных почв, как и накопление гумуса в целинных почвах в одинаковой степени подчинены географической закономерности. Эти параметры снижаются по мере нарастания сухости климата в направлении с севера на юг. Данный факт, когда за 30 лет из черноземов обыкновенных потерялось 19% гумуса, черноземов южных 13%, а из каштановых почв лишь 3%, может одним из основных для разработки критериев экологической устойчивости гумуса. Таким образом, потери гумуса независимо от биоклиматической зоны, в которой формируются почвы, и характера земледельческой практики без систематического применения удобрений могут быть значительными даже за сравнительно короткий период использования почв в качестве пашни.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Almendros E.. Sorptive interactions of pesticides in soils treated with modified humification // *Europ. J. Soil Sci.* – 1995. – V. 46. - № 2. – P. 287-301.
2. Maqueda C., Morillo E., Perez-Rodriguez J.L. Interaction in aqueous solution of certain pesticides with fulvic acids from a spodosol soil // *Soil Sci.* – 1989. – V. 148. - № 5. – P. 336 – 345.
3. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. Филиал «Гео», 2000. – 176 с.
4. Танасиенко А.А., Путилин А.Ф. Экологические аспекты проблемы эрозии почв // *Сиб. экол. журн.* – 1994. – Т. 1. – № 1. – С. 185 – 194.

© Б.М. Кленов, 2005

**ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ
ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЮГЕ СИБИРИ**

Мониторинг почвенных процессов является частью геосистемного мониторинга и осуществляется преимущественно дистанционными методами в комплексе с наземными исследованиями. К настоящему времени В.Л. Андрониковым [1], Е.И. Панковой, Д.Л. Соловьевым [2] разработаны научно-методические основы дистанционного почвенного мониторинга. Для ряда регионов нашей страны использование результатов многолетних аэрокосмических и наземных исследований динамики увлажнения, засоления, эрозии почв и ряда других процессов позволило установить основные дешифровочные их признаки, обосновать требования к фотоизображениям и в итоге получить новую научную информацию.

В лесостепи и степи Западной и Восточной Сибири на многолетнемерзлых и сезоннопромерзающих породах существенное значение в эволюции почв принадлежит водно-солевому режиму. Засоленность является важнейшей характеристикой, лимитирующей плодородие почв и определяющей генетические и мелиоративные свойства почвенного покрова, быстро реагирует на изменение природных условий и антропогенные воздействия, является информативным свойством, отражающим комплекс процессов, протекающих в почвах. Постоянным, повсеместно распространенным источником солей на исследуемой территории Сибири с начала голоцена до нашего времени служат соли, поступающие с атмосферными осадками и при эоловом переносе [3, 4 и др.]. В зоне распространения многолетней мерзлоты соли поступают на поверхность через атмосферу и аккумулируются в ежегодно протаивающем слое почв. Со снеготалой водой частично они выносятся в понижения. В районах распространения глубокопромерзающих и ежегодно оттаивающих почв эти соли выносятся также речным стоком. Определенная доля их задерживается в почвах и грунтовых водах понижений и служит дополнительным источником образования засоленных почв. В настоящее время в Восточной Сибири в связи с потеплением климата и деградацией многолетней мерзлоты процесс соленакопления на водоразделах сменился рассолением, осолонцеванием и осолодением почв, накопление солей происходит только в понижениях [5, 6].

В криогенных гидроморфных почвах вертикальное движение солей, формирование солевого профиля, его состав и устойчивость определяются глубиной их протаивания и промерзания, продолжительностью оттаивания, увлажненностью весенне-летнего периода. Процессы зимнего солепереноса распространены в Сибири весьма широко [7, 8 и др.], они сопровождаются перераспределением солей по территории соответственно подвижности отдельных химических соединений. Наименее подвижные гидрокарбонаты и карбонаты находятся на повышенных элементах рельефа в начале пути солевой

миграции, сульфаты занимают промежуточное положение, но нередко аккумулируются совместно с карбонатами. Преобладание хлоридов в почвах, породах и почвенно-грунтовых водах служит показателем конечного пути движения солевого потока, которым обычно приурочен к замкнутым понижениям и локальным впадинам.

Повышение содержания легкорастворимых солей в поверхностном горизонте почв, как правило, приводит к изменению тональности фотоизображения. По характеру тона и рисунку фотоизображения материалы дистанционного зондирования позволяют выделить генетические формы рельефа и установить особенности пространственного перераспределения разных по гидрохимическому составу солевых масс, формирующих геоморфологически обусловленные почвенно-гидрохимические пояса, охватывающие как обширные многозональные площади континентов, так и локальные формы рельефа. Геохимически обусловленная смена солевых аккумуляций почв территориально прослеживается весьма широко. Аккумуляции карбонатов и гидрокарбонатов с участием соды распространены преимущественно в лесостепной зоне, в степной и полупустынной зоне – сульфаты, а по побережью озер и морей – сконцентрированы аккумуляции хлоридов. Аналогичная геохимическая сопряженная микроразнообразие прослеживается в пределах предгорных наклонных равнин, конусов выноса временных рек и ручьев, по водосборам озер, межгрядных понижений и других форм поверхности.

На исследуемой территории отмечаются самые различные сочетания климатических условий, отличающиеся от среднепогодных, и сопровождающиеся изменением водно-солевого режима почв (табл.). На равнинах юга Западной Сибири для исследования одновременного изменения увлажненности, характера и степени засоления почв, смены ландшафтного облика в северной лесостепи (Привасюганская низменная равнина) выбран почвенно-геоморфологический профиль со следующими характеристиками: вершина гривы, абсолютная высота над уровнем моря (Н н.ур.м.) 134-136 м, чернозем выщелоченный (Чв); пологий склон гривы, Н н.ур.м. 125-130 м, лугово-черноземная почва (Чл); шлейф гривы, Н н.ур.м. 110-113 м, луговая солонцеватая почва ($Л^{ch}$). В направлении от вершины гривы до ее шлейфа в почвах происходит смена водно-солевых режимов, критической глубины залегания грунтовых вод (Н кр.) и амплитуды их сезонного колебания (А): автоморфный режим, Н кр. > 5,0 м, А = 0,3-1,0 м; полуавтоморфный режим, Н кр. = 3,0-5,0 м, А = 0,5-1,5; полугидроморфно-полуавтоморфный режим, Н кр. = 2,0-3,0 м, А = 0,5-1,5 м; полугидроморфный режим, Н кр. = 1,5-2,0 м, А = 0,5-2,0 м, гидроморфный режим, Н кр. до 1,5 м, А = 0,5-1,5 м.

В южной лесостепи (увалистый Баган-Карасукский водораздел) почвенно-геоморфологический профиль имел следующие характеристики: верхний склон гривы, Н н.ур.м. 133-134 м, чернозем обыкновенный (Чо), подножие гривы, Н н.ур.м. 128-130 м, черноземно-луговые солонцеватые ($Лч^{ch}$); межгрядная депрессия, Н н.ур.м. 126-123 м, солонцы луговые мелкие и корковые солончаковатые в комплексе с солодами лугово-болотными ($Сн^{ck}+Сдб$). В

направлении от высокого склона гряды до межгрядной депрессии в почвах происходит смена водно-солевых режимов, критической глубины залегания грунтовых вод (Н кр.) и амплитуды их сезонного колебания (А): автоморфный режим, Н кр. > 5,0 м, А = 0,2-0,9 м; полуавтоморфный режим, Н кр. 3,5-5,0 м, А = 0,2-1,1 м; полугидроморфно-полуавтоморфный режим, Н кр. 2,5-3,5 м, А = 0,5-1,9 м; полугидроморфный режим, Н кр. 1,7- 2,5 м, А = 0,5-2,0 м, гидроморфный режим, Н кр. до 1,7 м, А до 1,7 м.

Таблица. Функциональное состояние почв и изменение ландшафтного вида на Привасюганской пологоувалистой равнине (северная лесостепь) и увалистом Баган-Карасукском водоразделе (южная лесостепь) в различных климатических условиях*

Осадки выше среднемноголетних и превышают испарение, обилие снега, дожди при прохладной погоде. Интенсивное функционирование почвенных процессов		Осадки выше среднемноголетних и меньше испарения, неравномерное, обилие снега, обильные осадки при жаркой погоде. Неравномерное функционирование почвенных процессов		Осадки ниже среднемноголетних и меньше испарения, сухое, жаркое лето. Пониженное функционирование почвенных процессов	
Северная лесостепь	Южная лесостепь	Северная лесостепь	Южная лесостепь	Северная лесостепь	Южная лесостепь
Чв, полуавтоморфный режим Рассоление, вынос гумуса Вымокание лесов в западинах	Чо, полуавтоморфный режим Слабое рассоление	Чв, полуавтоморфный режим Слабое рассоление	Чо, автоморфный режим, близкий к равновесию	Чв, автоморфный режим Слабое засоление Усыхание лесов в западинах	Чо, автоморфный режим Слабое засоление
Чл, полугидроморфно-полуавтоморфный режим Рассоление, активизация осолодения	Лч ^{сн} , полугидроморфно-полуавтоморфный режим Слабое рассоление, активизация осолодения	Чл, полугидроморфно-полуавтоморфный режим Слабое рассоление	Лч ^{сн} , полугидроморфно-полуавтоморфный режим, близкий к равновесию	Чл, полуавтоморфный режим Слабое засоление, активизация осолонцевания	Лч ^{сн} , полуавтоморфный режим Слабое засоление, активизация осолонцевания
Лг ^{сн} , гидроморфный режим Рассоление, активизация заболачивания Увеличение площади озер и болот, изменение	Сн ^{ск} +Сдб, гидроморфный режим Рассоление, активизация заболачивания Увеличение площади озер и болот, изменение	Лг ^{сн} , гидроморфный режим Слабое рассоление Изменение видового состава растений	Сн ^{ск} +Сдб, гидроморфный режим Слабое рассоление Изменение видового состава растений	Лг ^{сн} , гидроморфный режим Засоление Уменьшение площади озер и болот	Сн ^{ск} +Сдб, гидроморфный режим Засоление, азральный вынос солей при выпоте Уменьшение площади озер и болот

видового состава растений	видового состава растений				

* Пояснения и обозначения в тексте.

В северной лесостепи во влажные многогодичные циклы количественно установить по данным дистанционного зондирования влияние переувлажнения на специфику почвообразования достаточно сложно вследствие тяжелого гранулометрического состава почв и подстилающих пород, близости обширных заболоченных массивов и значительной доли в пахотном фонде почв с высокой гумусностью. Поэтому основными хорошо дешефрируемыми показателями степени распространения процессов переувлажнения служат ландшафтные характеристики: вымокание лесов, увеличение площади озер и болот (см. табл.).

В южной лесостепи во влажные годы увеличение степени увлажнения почв в межгрядных понижениях и депрессиях приводит к уменьшению доли остепненных злаков в составе растительного покрова или к их деградации, отчетливо проявляются визуальные признаки рассоления почв по морфологии верхнего горизонта [9]. В сухие периоды многолетнего цикла понижается уровень грунтовых вод, однако на участках с засоленными почвами усиливается концентрация солей в верхних горизонтах. На поверхности солончаков образуются солевые корки, что отчетливо фиксируется на фотоизображениях крупного масштаба.

Распашка земель практически повсеместно приводит к распылению и обесструктурированию гумусового горизонта, и как следствие этого, снижается эрозионная устойчивость почв. Водная эрозия почв проявляется во всех природных зонах Сибири – от тундры и лесотундры до степи. Наиболее сильно она развита в сельскохозяйственных районах лесостепной зоны в связи с тем, что основной смыв почв происходит при бурном весеннем снеготаянии. Сильное и глубокое промерзание почв препятствует просачиванию талых вод и вызывает усиленный поверхностный сток. Смыв и размыв почв в летний период бывает не ежегодно, но в отдельные годы ливневые дожди вызывают катастрофические разрушения почвенного покрова. Проблема защиты почв Сибири от смыва и размыва стоит очень остро и трудно разрешима в связи со специфическими климатическими условиями.

В степных равнинных районах Западной Сибири, а также в горных котловинах Средней Сибири малая залесенность, легкий гранулометрический состав почв способствуют развитию процессов ветровой эрозии – дефляции, результатом которой является выдувание мелкодисперсных частиц почвы. Развитию эрозионных процессов способствует также нарушение агротехники возделывания сельскохозяйственных культур и нерегулируемый выпас скота на пастбищах, расположенных в пределах таких территорий. На равнинных территориях наиболее подвержены процессам дефляции почвы грив и других мезоповышений. На крупномасштабных фотоизображениях они характеризуются большими величинами отражательной способности, имеют темно-серый слабонасыщенный тон и отчетливые границы локальных дефлированных участков [9]. Отдельные межгрядные депрессии и окраины

межгрядных котловин, на которых распространены процессы водной эрозии, характеризуются струйчатым рисунком. На периферии котловин, где потоки паводковых и дождевых вод замедляются, неравномерно распределяются (блуждают), струйчатый рисунок принимает древовидный характер. В центральной и южной лесостепи Барабинской равнины установлено несколько типов последовательной смены рисунков фотоизображения от вершин гряд вниз по склону, отражающих последовательные стадии эволюции форм рельефа и структуры почвенного покрова под влиянием процессов эрозии. Для изучения скорости изменения свойств почв под влиянием экзогенных процессов, в том числе и эрозионных, необходимы повторные снимки, в различные по климатическим показателям годы. Учет площадей эродированных, засоленных и переувлажненных почв должен проводиться по аэрофотоснимкам крупного масштаба, либо по космоснимкам высокого разрешения.

Таким образом, совмещение материалов дистанционного и наземного обследования свойств почв и других компонентов ландшафтов в различные периоды времени обеспечивает большую долю достоверности диагностики пространственных и временных изменений засоленности и увлажненности почв, подверженности их эрозии. Интерпретация материалов многолетних исследований, а также опубликованных данных позволила установить основные дешифровочные признаки почв (особенности рисунка, тонально-текстурные характеристики фотоизображения и другие), которые находятся в прямой зависимости от биоклиматической и галогеохимической обстановки.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (проект № 03-04-49674).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андроников В.Л. Аэрокосмические методы изучения почв. М.: Колос, 1979. – 280 с.
2. Панкова Е.И., Соловьев Д.А. Дистанционный мониторинг засоленных орошаемых почв. - Почвен. Ин-т им. В.В. Докучаева, М., 1993. - 192 с.
3. Панин П.С. Гидрохимический сток с территории Западной Сибири и особенности его формирования// Географические проблемы при сельскохозяйственном освоении Сибири. – Новосибирск, 1977. – С. 66 -75.
4. Кочуров Б.И. типологические аспекты содообразования в степях Южно-Минусинской котловины / Почвы БАМ. Новосибирск: Наука, 1979. – с. 250 - 260.
5. Надеждин Б.В. Лено-Ангарская лесостепь. М.: АН СССР, 1961. – 327 с.
6. Лопатовская О.Г., Михайличенко В.Н. Почвенные эколого-мелиоративные комплексы Черемховского Приангарья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 92 с.
7. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. М., 1964.- 313 с.
8. Елизарова Т.Н., Казанцев В.А., Магаева Л.А., Устинов М.Т. Эколого-мелиоративный потенциал почвенного покрова Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. Сибирская издат. Фирма РАН, 1999. – 240 с.
9. Дитц Л.Ю. Методологические аспекты ландшафтно-индикационного изучения почвенного покрова (на примере Барабинской лесостепи). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 126 с.

© Т.Н. Елизарова, Л.Ю. Дитц, О.Г. Лопатовская, 2005

УДК 504.73.054+ 504.3.054

С.Ю. Артамонова

ИГ ОИГГМ СО РАН

В.Ф. Рапута

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

Ю.П. Колмогоров

ИГ ОИГГМ СО РАН, Новосибирск

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ ОЛОВОКОМБИНАТА (Г. НОВОСИБИРСК)

Изучение экологической обстановки городов в наши дни остается одной из наиболее актуальных проблем геоэкологии. Техногенная загрязненность городских территорий формируется под воздействием многих факторов: выхлопных газов транспорта, выбросов котельных и промышленных объектов, накопления бытового мусора и т.д. Экологическая оценка, в первую очередь, подразумевает выявление вклада каждого техногенного фактора в формировании экологической обстановки городской территории. В отличие от ряда практически не регулируемых факторов, как, например, транспорт, воздействие промышленных предприятий на окружающую среду вполне можно минимизировать за счет установки более совершенного очистного оборудования. Необходимость постоянного комплексного эколого-геохимического изучения промышленных объектов не подлежит сомнению.

Цель исследований – оценить техногенное воздействие металлургического завода на городскую среду на примере Новосибирского оловокомбината (ОК).

Объект. Оловокомбинат в течение более 60 лет производит олово, сплавы и припои на его основе, баббиты различных марок на основе олова, свинца, меди и сурьмы, а также галлий, висмут и индий высокой чистоты путем переработки сложных по составу руд и концентратов. Предприятие расположено в непосредственной близости – в 1-1.5 км от жилых кварталов и дачных участков, также близко находится рекреационная зона Бугринской рощи (рис.1).

Методика. В сентябре 2004 г. в сухую солнечную погоду по стандартным методикам отобраны пробы почв и растительности в 11 точках, расположенных по трансекту на расстоянии от 580 м до 3.2 км к северу от ОК - по преобладающему направлению розы ветров. Пробы почв отбирались из гумусового горизонта (A1) с глубины от 0 до 8 см, предварительно расчисткой дерновый горизонт (A0) удалялся. В каждой точке собраны по 100 штук листьев березы (*Betula pendula* Roth.), тополя (*Populus nigra* L.), и также хвоя и ветки лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.). Пробы высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния [1]. За контроль была взята проба почв и растительности в Ботаническом саду Академгородка – района с наиболее благоприятной экологической обстановкой в Новосибирске.

Пробы почв весом 200 г после просушки до постоянной массы измельчались до 200 меш, брались навески 30 мг и спрессовывались в таблетки диаметром 6 мм. Пробы растительности после измельчения и

концентрирования путем озоления в режиме (T до 350°C , время - 2 часа) таблетировали так же.



Рис. 1. Схема района исследования у Новосибирского оловокомбината

Примечание: 1-11 – точки пробоотбора

Использован метод рентгенофлуоресцентного анализа на синхротронном излучении (РФА-СИ) на станции элементного анализа ВЭПП-3 Института ядерной физики СО РАН – определены концентрации тяжелых металлов в пробах почв и растительности. Измерения РФА-СИ проведены при энергии 30 кэВ. Относительное стандартное отклонение в определении концентраций вышеназванных элементов 10-15 %, нижние пределы обнаружения – до 0.1 ppm в зависимости от энергии возбуждения эмиссионных линий.

В качестве внешних стандартных образцов для почв использованы международный стандарт почвы SOIL-7 МАГАТЭ, а для растительности – российский стандарт злаковой травосмеси СБМТ-02 №3170-85 и зольный остаток этой травосмеси ЗСБМТ-02 №3170-85. Относительное стандартное отклонение S_r результатов определения химического состава проб почв и растительности не хуже III категории классификации методов анализа минерального сырья по точности результатов (ОСТ 41-08-212-82 и рекомендации НСАМ). В работе приведены расчетные содержания нелетучих металлов, как Cd, Mo и др. в тканях растительности, полученные с учетом примерно 10-кратного концентрирования пробы путем низкотемпературного озоления.

Содержание ртути определялось с помощью атомно-абсорбционного анализа, нижний предел обнаружения – не менее 0.008 ppm, относительное стандартное отклонение не более 10 %.

Результаты и обсуждение.

Точки №1-3 расположены вблизи от ОК – в 0.5 до 1 км от его трубы на заросшем пустыре с островками берез и тополей, где сохранен гумусовый горизонт. Здесь в почвах обнаружены ураганные концентрации As – до 1.4 кг/т и Sn – до 3.3 кг/т (рис. 2). В почвах этого участка присутствует в больших количествах комплекс тяжелых металлов: Tl, Cd, Sn, Te, Bi, Th, Mo, Ag, Cu, Zn, Ga, Fe, Hg. ПДК (валовое содержание) As и Sn превышены в ~ 700 раз, по Pb – в 9, Sb в 5.5, Cr до 2.4 раз [2]. В ближней зоне предполагается субдоминантный, но существенный вклад Cu, Zn, Pb, Cd – металлов, поступающих с выбросами транспорта [3], так как близко проходит оживленная дорога. По мере удаления от ОК концентрации загрязнителей уменьшаются. В промежутке от 1 до 2 км от ОК в почвах Бугринской рощи содержание Sn, As в почвах в пределах 150-400 ПДК, Sb – 1-3 ПДК, Pb 2-5 ПДК, Cr – примерно 1 ПДК. Здесь же в почвах выявлено высокое содержание весьма токсичных Cd – до 13 ppm, Hg – до 0.5 ppm. По двум показателям – содержанию As и Sn уровень техногенного загрязнения почв Бугринской рощи оценивается как очень высокий [3]. В 2 км от ОК концентрации Sb, Pb, Cr уменьшаются до ~ 1 ПДК, затем и ниже. В 3 км от оловокомбината концентрации As, Sn в почвах сохраняются высокими ~ 15-20 ПДК, при этом содержание Sn, Cd уменьшается в ~ 44 раза, а As, Bi – в 30 раз, Pb, Sb в 14 раз, Zn в ~ 9 раз.

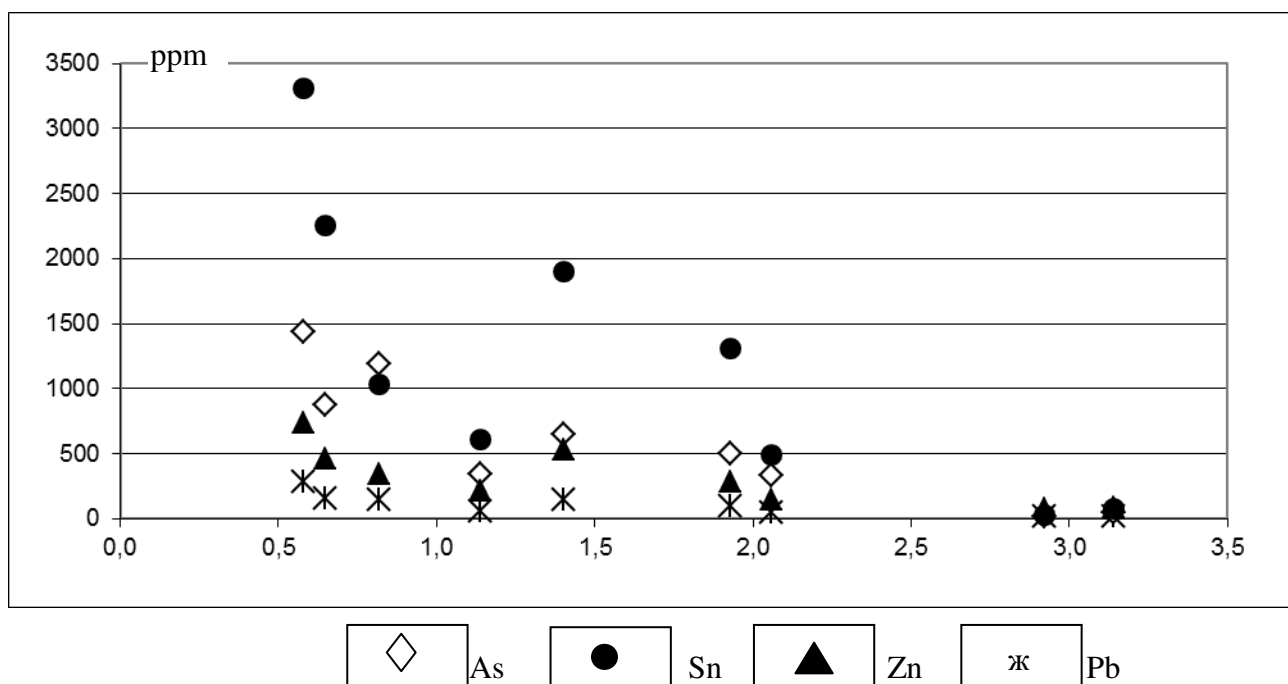


Рис. 2. Содержание As, Sn, Zn Pb в почвах района Оловокомбината г. Новосибирска (ppm)

Интенсивное техногенное загрязнение отразилось на элементном составе тканей растений района. В листьях березы (самого распространенного вида в районе) ближней зоны (т.1-3) содержание Ni, Ga, Sb в 3 раза, As, Ag, Pb, Th в 6-7 раз, Cd, Zn, Sn в 10-15 раз, Bi в 19 раз выше их содержания в листьях берез дальней зоны (т.4,5). Диапазон изменения концентраций As и ТМ в листьях

березы значительно меньше, чем в почвах. В гумусовом горизонте почв мощностью 8 см идет накопление элементов в течение многих лет, тогда как состав листьев отражает обстановку одного года. Данные состава листьев смогли лечь в основу математического моделирования среднегодового и летнего переноса пыли, тогда как кумулятивные содержания мышьяка и ТМ в почвах оказались сложными для математического описания. Содержание As и ТМ в листьях березы определяется атмосферными выбросами оловокомбината. Метод математического моделирования на основе интегральной теоремы о среднем путем постановки обратной задачи с двумя опорными точками 6 и 5 [4] показал практическое совпадение измеренных значений основных загрязнителей в контрольных точках с вычисленными (рис.3).

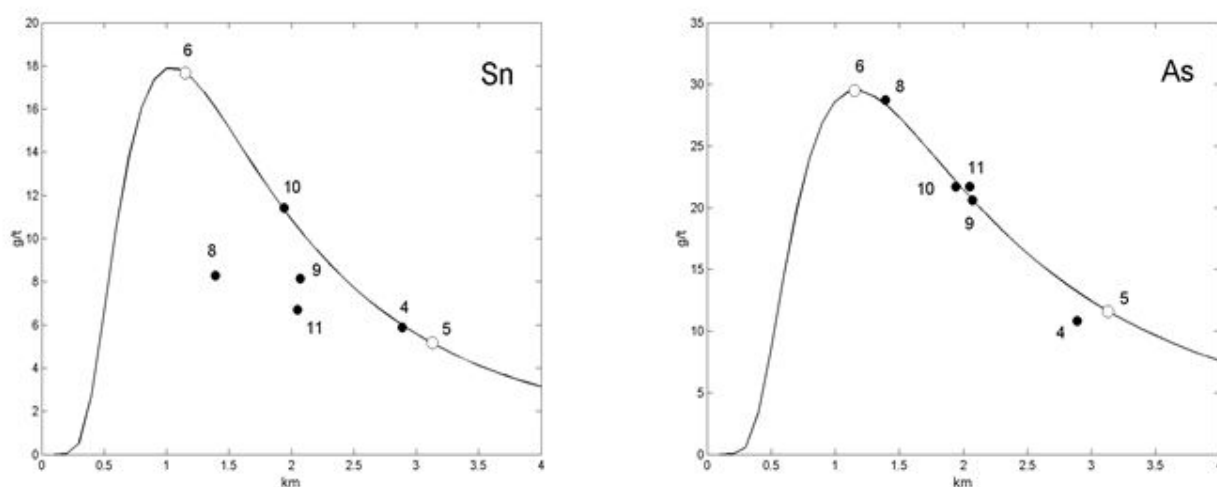


Рис. 3. Вычисленное и измеренное содержание Sn и As в листьях березы (возд. - сухой вес, ppm). Нижняя ось – расстояние от трубы Оловокомбината (км)

В листьях тополя присутствует As, Sb и весь комплекс тяжелых металлов примерно в таких же концентрациях, как и в листьях березы, кроме Cd, концентрации которого в 5-8 раз больше, чем в листьях березы (6.1 – 1.1 ppm против 1.7-0.14 ppm). Разница концентраций элементов в тканях разных видов растений обусловлено их индивидуальными аккумулирующими свойствами. По мере удаления от ОК концентрации As и ТМ в листьях тополя уменьшаются так же, как и в листьях березы, но диапазон изменения концентраций меньше.

Вблизи от трубы оловокомбината согласно математической модели существует мертвая зона, где минимальное выпадение аэрозолей. Далее в ближней зоне начинается резкий рост аэрозольного загрязнения, где максимум приходится в 1-1.5 км от трубы – в Бугринской роще и примыкающих к ней дачных участках.

Сравнительный анализ состава почв и растительности дальней зоны района показал, что шлейф загрязнения от оловокомбината протягивается на расстоянии далее 3 км. Основными трассерами техногенных выбросов оловокомбината в почвах и растительности являются Sn (концентрации в почвах в 20 и в листьях березы в 28 раз выше контроля соответственно), As (в 8

и 12 раз соответственно), Hg, Cd, Sb, Th, Ag (в 2-6 раз выше контроля). Выявлено, что в дальней зоне при уменьшении загрязнения от ОК становится заметным влияние других, возможно, локальных источников загрязнения Ti, Cr, Mo, Sb и Pb, поскольку тенденция уменьшения их концентраций по мере удаления от ОК сменяется их ростом.

Выводы

Оловокомбинат является источником загрязнения городской среды мышьяком, оловом и другими тяжелыми металлами, в том числе высокотоксичными Tl, Cd, Hg.

На территории Бугринской рощи достигнут очень высокий уровень техногенного загрязнения почв (согласно экологических норм). Возможно, такая ситуация характерна также прилегающим в 1.2 км к северу и северо-востоку от оловокомбината дачным участкам, для чего требуется дальнейшее изучение. Экологический риск воздействия оловокомбината весьма высок из-за использования загрязненных земель в рекреационных целях (Бугринская роща), но и для выращивания сельхозпродукции.

Элементный состав листьев берез и тополя отражает картину реального атмосферного загрязнения, и таким образом, листья деревьев являются хорошим индикатором атмосферного загрязнения. Снеговая съемка в конце зимы, изучение листьев берез и тополя осенью сделают возможным ведение непрерывного круглогодичного экологического мониторинга деятельности оловокомбината.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / под ред. Н.Г. Зырина, С.Г. Малахова. М.: Гидрометеиздат, 1981. 109 с.
2. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (гос.документ). – М., 1993.
3. Рапута В.Ф., Королева Г.П., Горшков А.Г., Ходжер Т.В. Исследование процессов длительного загрязнения окрестностей Иркутска тяжелыми металлами // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т.14. – № 6 -7. – С. 623-626.
4. Рапута В.Ф., Артамонова С.Ю., Ярославцева Т.В. Количественные модели атмосферного загрязнения территории Нерюнгринского топливно-энергетического комплекса // Наука и образование. – 2004. - № 4. – С. 33-41.

© С.Ю. Артамонова, В.Ф. Рапута, Ю.П. Колмогоров, 2005

ЭКОЛОГИЯ ГОРОДА: БИОИНДИКАЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОЛОВОКОМБИНАТА (Г. НОВОСИБИРСК)

Современная система биологической оценки качества среды – биоиндикации – должна соответствовать следующим основным требованиям [2]:

- Возможность оценки степени отклонения от оптимума;
- Общий характер используемых параметров, отражающих наиболее важные черты функционирования биологических систем;
- Высокая чувствительность, позволяющая выявлять даже начальные (еще обратимые) изменения в состоянии живых существ в ответ на отклонения параметров среды;
- Универсальность, позволяющая выявлять последствия воздействия на различные виды живых существ в различных регионах и типах экосистем;
- Возможность оценки ситуации в природе;
- Пригодность для широкого пользования.

В настоящее время биоиндикационные исследования при оценке состояния среды получили широкое распространение при этом надо отметить и многообразие такого рода работ: 1) изучение химического состава тканей организмов и содержания в них загрязнителей; 2) изменение состава сообществ разных групп организмов под техногенным воздействием; 3) изменение хромосомных aberrаций и более мелких мутаций к организмам разных таксономических групп (червей, хирономид и др.).

Одним из наиболее удобных в применении биоиндикации является метод флуктуирующей асимметрии, в основе которого лежит оценка стабильности индивидуального развития организмов разных систематических групп и трофических уровней с помощью морфогенетических параметров. Стабильность развития – чувствительный индикатор состояния природных популяций, позволяющий оценивать суммарное антропогенное воздействие. Оптимальное протекание процессов развития поддерживается сложной системой буферных гомеостатических механизмов. Нарушение гомеостаза развития выражается в изменении различных параметров функционирования живых систем.

Для интегральной оценки реакции городских экосистем на техногенное загрязнение выбран биоиндикационный метод флуктуирующей асимметрии (ФА) растений. Последние позволяют оценивать интегральные техногенные воздействия, характерные для данного участка в целом. Чем сильнее реакция на стрессовое воздействие и чем ниже уровень гомеостаза развития растения, тем выше у него степень сбоя в онтогенезе, выражающемся в повышении асимметрии. Этот метод успешно применен при экологической оценке воздействия Чернобыльской аварии [2]. В зоне техногенеза при фактически

одинаковых микроклиматических, ландшафтных условиях вариации ФА одного вида растений обычно связывается с техногенным фактором [1]. Таким образом, этот метод биоиндикации ФА пригоден для оценки реакции экосистем на техногенное загрязнение.

Цель – оценить реакцию городских экосистем на техногенное воздействие металлургического завода на примере Новосибирского оловокомбината (ОК).

Объект. Оловокомбинат является крупным источником выбросов мышьяка, олова и других тяжелых металлов, загрязняющем Бугринскую рощу и другие близлежащие территории (статья Артамоновой, Рапуты и Колмогорова в данном сборнике).

Методика. Измерение ФА проведено на листьях березы (*Betula pendula* Roth.). В каждой исследуемой точке собиралось по 100 листьев берез и тополя на площади 10 м x 10 м, свежевывавших с растущих рядом деревьев одного возраста, одинаково освещенных, с одинаковым ландшафтным положением (100 листьев в одной пробе). Проба консервировалась в этиловом спирте. Величина ФА у растений оценивалась с помощью интегрального показателя – величины среднего относительного различия на признак:

$$\Phi A = \left(\sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{100} \frac{(l_{ji} - P_{ji})}{(l_{ji} + P_{ji})} \right) \right) / 100n,$$

где l_{ji} и P_{ji} промеры листа слева и справа соответственно по j-ому признаку слева и справа соответственно, i – порядковый номер листа в пробе, n – число признаков, в данном случае равно 6. Погрешность замеров не более 3%. Всего изучено 11 проб (1100 листов). Точки пробоотбора для геохимического и биоиндикационного изучения совпадали.

Результаты и обсуждение.

Средние значения флуктуирующей асимметрии листьев березы показали отсутствие линейной зависимости от несомненно мощного техногенного загрязнения, источником которого является оловокомбинат (см. статью Артамоновой, Рапуты, Колмогорова в данном сборнике) (рис. 1). Этот факт подтверждает устойчивость биологических систем и сложный характер их взаимосвязи с абиотическими факторами среды. Тем не менее, при рассмотрении разброса максимальных и минимальных значений ФА стала видна реакция листьев берез на загрязнение. В ближней зоне от оловокомбината (0.5 – 1 км) и в пределах Бугринской рощи (1-1.5 км) диапазон между максимальным и минимальным значением ФА значительно выше, чем в дальней зоне (2 и более км) (рис. 2).

В листьях при нарушении стабильности развития высокие показатели ФА появляются дополнительные жилки, наблюдается асимметрия размеров левой и правой сторон даже на глаз разные, повышена зазубренность краев листьев (рис. 3).

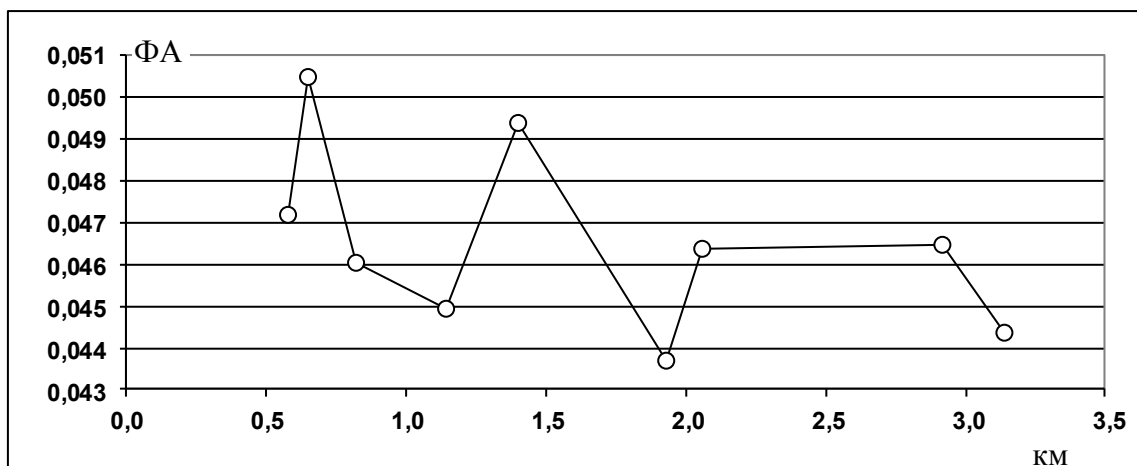
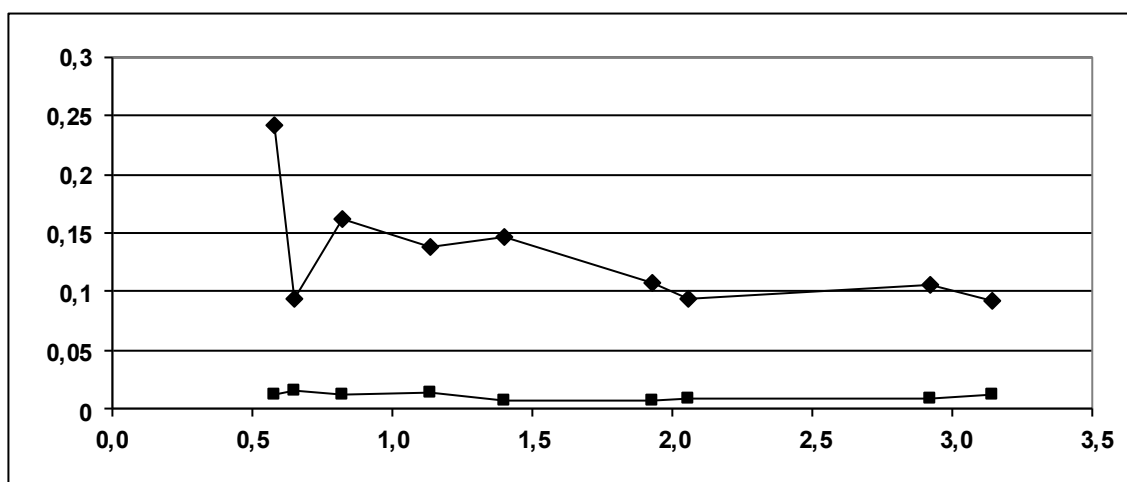


Рис. 1. Средние значения коэффициента флуктуирующей асимметрии листьев березы в северном трансекте от оловокомбината г. Новосибирска (по



горизонтальной оси расстояние от трубы оловокомбината)

Рис.2. Максимальные (1) и минимальные (2) значения коэффициента флуктуирующей асимметрии листьев березы в северном трансекте от оловокомбината г. Новосибирска (по горизонтальной оси расстояние от трубы оловокомбината)

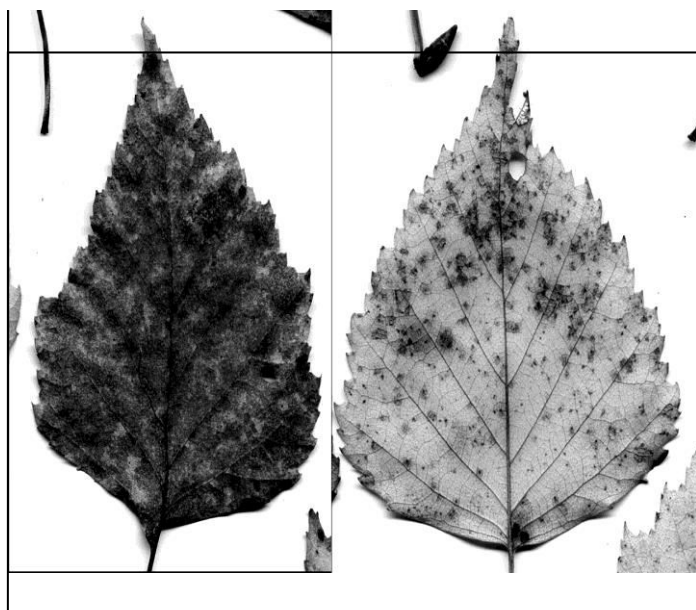


Рис. 3. Листья с разным показателем флуктуирующей асимметрии:

справа лист с нормальным строением и жилкованием;
слева – с повышенным показателем ФА

Вывод. Таким образом, воздействие оловокомбината на городские нарушает стабильность развития берез в пределах 1.5 км, что отразилось в широком диапазоне дисперсии показателей флуктуирующей асимметрии.

Экосистемы Бугринской рощи на расстоянии более 1.5 км показывают толерантность на техногенный прессинг и сохраняют стабильность развития: показатели ФА и их дисперсия листьев берез здесь в целом ниже, чем в ближней зоне от оловокомбината.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артамонова С.Ю., Данилов В.А. Техногенное загрязнение при золотодобыче и реакция экосистем в зоне многолетней мерзлоты // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. - № 12. – 19 - 32 с.
2. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. и др. Здоровье среды: практика оценки, М., Центр экологической политики России, 2000. – 317 с.
3. Шадрин Е.Г., Вольперт Я.Л., Данилов В.А., Д.Я. Шадрин. Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышленности на наземные экосистемы Севера. – Новосибирск: Наука, 2003. – 105 с.

© В.А. Данилов, С.Ю. Артамонова, 2005

УДК 631.484

М.В. Якутин, Л.Ю. Анощенко

ИПА СО РАН, СГГА, Новосибирск

СОВРЕМЕННЫЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ МОЛОДЫХ ПОЧВ ОЗЕРНЫХ ДЕПРЕССИЙ БАРАБЫ

Известно, что озерам Западной Азии свойственна значительная внутривековая изменчивость водного режима. В результате такого положения южная часть Западной Сибири испытывает резкие колебания в состоянии водных ресурсов. В относительно короткие фазы повышенной увлажненности водные ресурсы находятся в удовлетворительном состоянии. Наоборот, в фазы пониженной увлажненности, всегда более продолжительные, чем первые,

количество поверхностных и подземных вод значительно уменьшается: сток рек, в среднем незначительный и неустойчивый, еще более снижается; озера усыхают или пересыхают; уровень грунтовых вод и даже зачастую подземных вод понижается.

На территории Барабинской низменности находится более 3000 озер, большая часть которых бессточные или периодически бессточные озера [1].

Глобальные климатические изменения в XX в., связанные с развитием парникового эффекта, ведут к усилению аридности климата на территории юга Западной Сибири. Повышение температуры воздуха вместе с незначительным увеличением количества осадков должно привести к уменьшению увлажненности территории и к дальнейшему усыханию или полному пересыханию многочисленных озер Барабинской равнины. На обсыхающих территориях активно идут процессы почвообразования. В свете существующей тенденции к усилению аридности климата можно утверждать, что площади обсыхающих участков пойм соленых озер Барабы в будущем будут увеличиваться.

До настоящего времени не предложено простых, быстрых и надежных методов экологического мониторинга почв, формирующихся на обсыхающем дне соленых озер. Применяемые в настоящее время классические почвенные и ботанические методы мониторинга не всегда могут успешно использоваться.

В последние десятилетия в практике почвенно-экологического мониторинга во всем мире все более широкое применение находят современные почвенно-микробиологические методы. Основное отличие этих методов – простота и быстрота исполнения, возможность параллельного анализа большого количества образцов. Эти методы, в отличие от ботанических, могут применяться вне связи с фазами развития растений, вне зависимости от частых в травяных экосистемах палов или особенностей сельскохозяйственного использования почв.

Цель настоящего исследования состояла в оценке применимости современных микробиологических методов в практике почвенно-экологического мониторинга молодых почв озерных депрессий Барабинской равнины.

В качестве объектов исследования были выбраны 5 разновозрастных почв, расположенных на южном берегу оз. Чаны вблизи д. Староярково Барабинского р-на НСО.

1 почва – эмбриозем – озерный ил с песком на уровне уреза воды оз. Чаны. Абс. высота 105 м. Растительность отсутствует.

2 почва – солончак луговой в 100 м от уреза воды озера Чаны. Абс. высота 105 м. Солянковый луг.

3 почва – луговая солончаковатая в 200 м от уреза воды озера Чаны. Абс. высота 106-107 м. Разнотравно-злаковый луг, периодически используется как пастбище.

4 почва – солонец глубокий на расстоянии 1 км от берега озера Чаны на юго-восточном слабонаклонном склоне невысокой гривы. Абс. высота 110 м. Разнотравно-полынно-ковыльный остепненный луг.

5 почва – черноземно-луговая на расстоянии 1,5 км от берега озера Чаны на вершине большой гривы. Абс. высота 113 м. Разнотравно-злаковый луг, используется как постоянный сенокос.

Все почвенные образцы отбирались в августе 2004 года из генетических горизонтов всех исследованных почв по общепринятой методике. Образцы сразу после отбора помещались в полиэтиленовые пакеты, доставлялись в лабораторию и до проведения анализов хранились в холодильнике. Подготовка к микробиологическому анализу включала в себя просеивание почвы через сито с диаметром ячеек 3 мм [2]. В образцах определялось содержание углерода биомассы почвенных микроорганизмов (С биомассы) методом фумигации-инкубации [3, 4]. Дыхательная активность оценивалась общепринятым методом по количеству CO_2 , выделившемуся из почвы, инкубированной 24 часа в темноте в плотно закрытом пенициллиновом флаконе при температуре 28°C и влажности 60% от полной влагоемкости.

Также в данной работе вычислялся показатель удельной активности микроббиомассы - метаболический коэффициент (Q), как отношение величины C-CO_2 , выделившегося из почвы за 1 час, к величине С биомассы микроорганизмов [5].

Эволюция молодых почв непосредственно после выхода поймы из-под воды начинается с процесса аккумуляции в них подвижных солей, вследствие чего происходит засоление этих почв. По мере опускания базиса эрозии начинается и продолжается в дальнейшем вынос подвижных солей в более низко расположенные элементы рельефа. Вследствие этого происходит распреснение формирующихся почв и изменение химизма в сторону уменьшения хлоридности и увеличения в их солевом составе роли ионов сульфатов и гидрокарбонатов.

Глубина залегания почвенно-грунтовых вод в пойменных почвах озерных депрессий в целом приблизительно одинакова. Фактором, определяющим этап эволюции, на котором находятся эти почвы, является их относительная высота над наиболее низко расположенными озерными депрессиями. Так наиболее старыми почвами на Причановской территории Барабинской равнины являются черноземные почвы, расположенные на вершинах грив. По мере снижения гипсометрических уровней, т.е. уменьшения возраста почв, увеличивается их гидроморфность, неустойчивость вводно-солевого режима [6].

Н.И. Базилевич отмечала большие скорости почвообразовательных процессов в Барабинской равнине [7]. Руководствуясь данными топографических и геологических карт 20-х, 40-х и 80-х годов XX в., мы оценили примерный возраст исследованных почв: почва 2 – 10 лет, почва 3 – 40 лет, почва 4 – 60 лет, почва 5 – 80 лет. Возраст почвы 1 принят за 1 год.

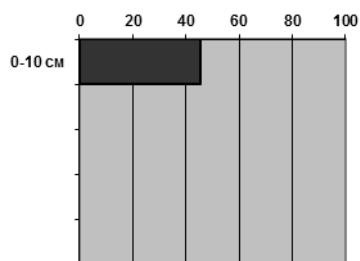
Эмбриозем (почва 1) характеризовался низким уровнем биомассы микроорганизмов и высоким уровнем дыхательной активности. Это объясняется высоким содержанием и интенсивным разложением органического вещества озерного ила в только что вышедшей из-под воды молодой почве (рис. 1а и 1а).

В луговом солончаке (почва 2) наблюдается рост запасов углерода биомассы в верхнем (0-10 см) слое почвы и резкое снижение дыхательной активности по всему профилю почвы (рис. Iб и IIб).

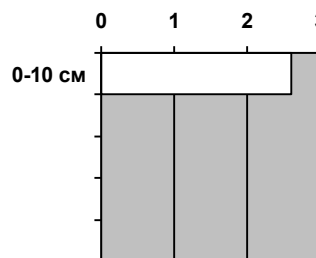
На следующем этапе эволюции почв озерных депрессий происходит постепенное распреснение почвенных профилей. И в луговой солончаковатой почве (почва 3) происходит резкое увеличение содержания микроббиомассы в верхнем 0-10 см слое. В нижележащих горизонтах уровень биомассы микроорганизмов остается низким (рис. Iв и IIв). Дыхательная активность низка по всему профилю и незначительно отличается от таковой в солончаке луговом.

В солонце глубоком и в черноземно-луговой почве (почвы 4 и 5) уровень микроббиомассы в верхнем 0-10 см слое остается на уровне луговой почвы, но отмечается значительный рост биомассы в нижележащих горизонтах. На этих стадиях эволюции почв отмечается резкий рост дыхательной активности (рис. Iг-д и IIг-д).

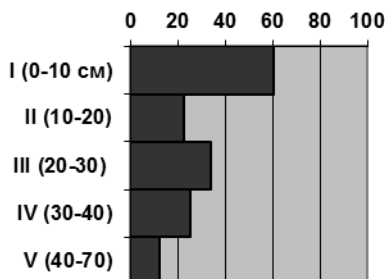
I а



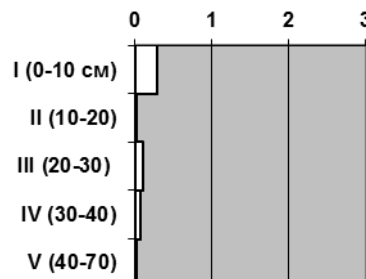
II а



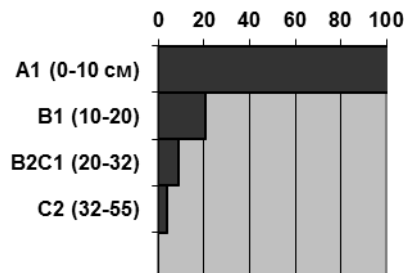
I б



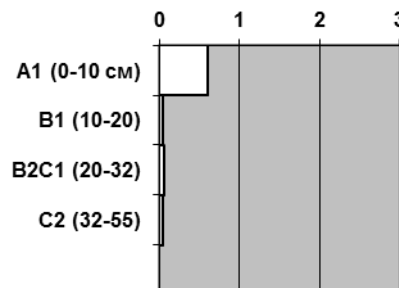
II б



I в



II в



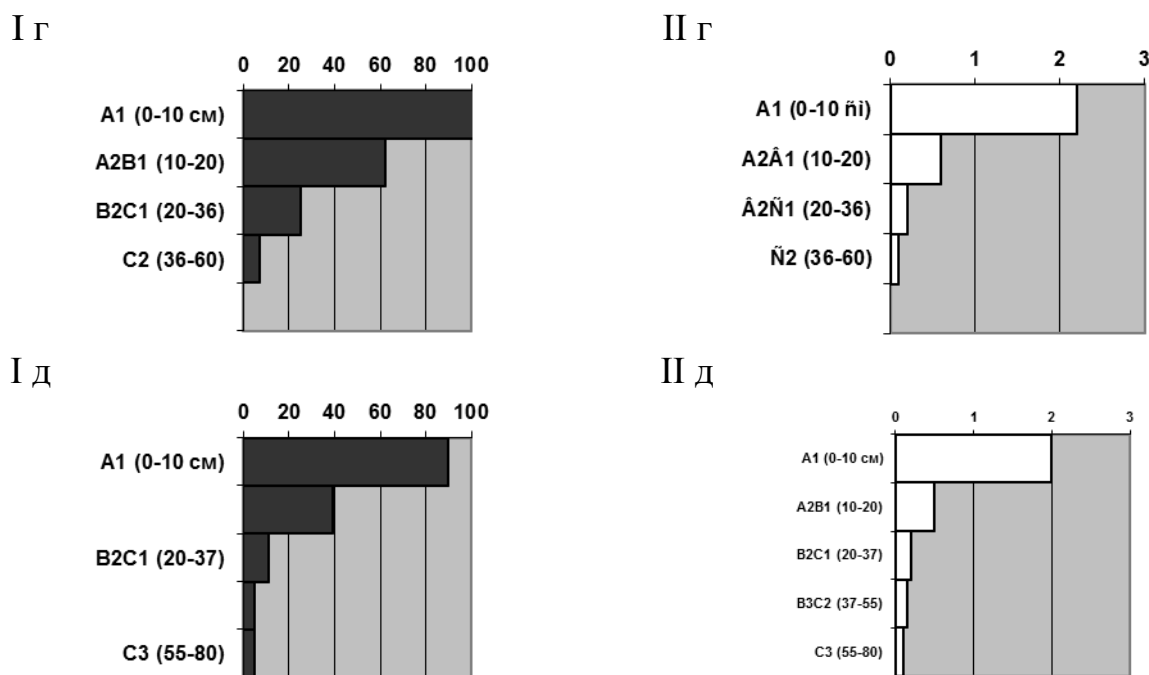


Рис. 1. Содержание углерода биомассы микроорганизмов (мг С/ 100 г почвы) (I) и уровень дыхательной активности (мкг CO₂-С/ г почвы в час) (II) в профилях эмбриозема (а), солончака лугового (б), луговой почвы (в), солонца глубокого (г) и черноземно-луговой почвы (д)

Максимальная удельная активность биомассы почвенных микроорганизмов отмечается в эмбриоземе (8,1 мкг CO₂-С/ мг С биомассы в час). В солончаке луговом и в луговой солончаковой почве удельная активность в верхнем 0-10 см слое снижается в 16 раз по сравнению с эмбриоземом. Ниже 30 см при переходе от солончака к луговой солончаковой почве наблюдается значительный рост (в 3-10 раз) роста этого показателя. При переходе от луговой почвы к солонцу и далее к черноземно-луговой почве происходит резкое увеличение удельной активности до 2,2 мкг CO₂-С/ мг С биомассы в час в верхнем 0-10 см слое этих почв. Отмечается также рост удельной активности и в нижележащих горизонтах солонца глубокого и черноземно-луговой почвы.

Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало, что современные микробиологические методы могут успешно применяться для диагностики и экологического мониторинга почв, формирующихся в поймах обсыхающих соленых озер Барабинской равнины.

Диагностическим показателем 1 стадии развития таких почв – стадии луговых солончаков – являются низкие значения биомассы почвенных микроорганизмов и крайне низкие значения дыхательной активности.

На 2 стадии – стадии луговых засоленных почв – важным диагностическим показателем может быть высокие значения содержания микроббиомассы в верхнем 0-10 см слое почвы при низком уровне дыхательной активности.

На 3 и 4 стадиях – стадии солонцов и черноземных почв важнейшим диагностическим показателем является высокое содержание микроббиомассы в почвенном профиле и высокая дыхательная активность.

Высокая удельная активность может быть хорошим диагностическим показателем эмбриоземов – молодых почв, формирующихся на только что обсохших участках дна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности – Л.: Наука, 1968. – 246 с.
2. Методы почвенной микробиологии и биохимии, М.: Изд-во МГУ, 1991. – 303 с.
3. Jenkinson D.S., Powlson D.S. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. // Soil. Biol. Biochem. – 1976. - V. 8, N3 - P. 209 - 213.
4. Schinner F., Ohlinger R., Kandeler E., Margesin R., Methods in soil biology, Berlin, Springer-Verlag, 1996.
5. Anderson T.H., Domsch K.H., Determination of ecolophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state // Biol. Fert. Soil. - 1985. - V.1, N5 - P. 81-89.
6. Пульсирующее озеро Чаны. - Л.: Наука, 1982. - 304 с.
7. Базилевич Н.И., Ковалев Р.В. Особенности почвенного покрова. – В кн.: Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы, т. 1. Новосибирск, 1974, с. 21-24.

© М.В. Якутин, Л.Ю. Анопоченко, 2005

УДК 551.51: 911.52:574

Л.В. Воронина

СГГА, Новосибирск

КЛИМАТ И ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ НОВОСИБИРСКОГО ПРАВОБЕРЕЖЬЯ

Климат, несомненно, оказывает важнейшее воздействие на интенсивность загрязнения атмосферы, её локальность и индивидуальность. Особенно наглядно проявляется это в Новосибирском Правобережье, для которого характерно достаточно сильное расчленение рельефа, высокая изменчивость растительных сообществ и широкий диапазон ландшафтов. Именно этим оно выгодно отличается от природных сообществ Левобережья, где строгая смена широтных зон представляет пример классической зональности на достаточно большой территории. Напротив, в Правобережье представлены не только примеры широтной зональности, но и высотной поясности гор.

Климат региона по классическому образцу формируется под влиянием трёх наиважнейших факторов: циркуляции атмосферы (ЦА), рельефа и солнечной инсоляции. ЦА, вследствие достаточной сложности рельефа, характеризуется наложением местных особенностей на зонально-азональные процессы. Именно в Правобережье близость горных рубежей может разделять барические системы и воздушные массы с разными свойствами, способствовать оживлению фронтальной деятельности и определять специфику динамики температур (t), осадков (х), ветрового режима. Малые же формы рельефа (увалы, сопки, котловины, пойменные понижения и др.) дифференцируют общие закономерности климата. В данном случае играют роль малейшие нюансы орографии: крутизна и экспозиция склонов, степень расчленённости, протяжённость и ориентировка повышенных форм рельефа. Естественно, что

всё это на фоне масштабных зонально-провинциальных процессов ЦА формирует отклонения микроклиматические. Последние, повторяясь из года в год, определяют то разнообразие ландшафтов, которое характерно для Правобережья НСО.

Солнечная радиация, выраженная интенсивностью суммарной радиации (Q) и радиационного баланса (R), изменяется по территории как зонально, так и по высоте местности. В первом случае Q колеблется от 3977,5 МДж/м² год на севере до 4180,1 – на юге, во втором – от 3977,5 МДж/м² на равнине до 3770,1, 3769,12 и 3564,8 МДж/м² год в ландшафтах предгорий, т.е. с увеличением высот убывает и общее поступление Q. R больше подвержен воздействию подстилающей поверхности, а потому его значения убывают не с севера на юг, в соответствие с широтной зональностью, а с запада на восток, от долины р. Оби и пониженных равнин региона (1172,3 МДж/м² год) до Сузунско-Черепановских увалов, Иня-Бердских предгорий и горной тайги Салаира (26 ккал\см² год).

Антропогенное воздействие на ландшафты при разных климатических флуктуациях чётко характеризуется через административные районы. *Болотнинский район*, расположенный на крайнем северо-востоке региона, по природно-климатическому районированию А.П.Сляднева (1) входит в ландшафтную зону северной лесостепи, отличается пониженным рельефом, наличием лесов и болот. Среднегодовые t воздуха изменяются по району от 0.1 до -0.2°C, июля – от 18.9 до 18.5°C, января – в пределах -18.5°C. Высокая увлажнённость: от 460 до 530 мм x за год, 95 – 100 в мае-июне, 110 мм в августе – сентябре. Высокий ГТК (гидротермический коэффициент): 1.5 – 1.6. Экологическая напряжённость определяется сильным антропогенным воздействием. Например, несоответствие коммунальных водопроводов требованиям по бактериальной обстановке, низкое качество питьевой воды, сброс в водоёмы и на земную поверхность неочищенных сточных вод. В итоге лесные ландшафты на площади в 190-260 га повреждены вредителями, 180-200 человек на 100 000 населения страдают злокачественными новообразованиями. Итак, климат континентальный и достаточной увлажнённый, может способствовать размножению вредителей, а полноводность рек и ручьёв – несколько стабилизировать степень их загрязнения. Выбросы же вредных веществ в атмосферу от стационарных источников и от автотранспорта, скорее всего, переносятся воздушными течениями в более северные регионы за пределы нашей области.

Природа *Мошковского района* это плавный переход от лесных ландшафтов Болотнинского к лесостепным - Новосибирского районов. Среднегодовая t воздуха варьирует в пределах -0.1°C, июля +18.0, января -18.4°C Годовое количество x возрастает до 420 –550 мм, равно как и ГТК – до 1.5 –1.8. В мае-июне выпадает 95-120 мм, в августе-сентябре – 110-130 мм Большое количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (более 14 тыс. т в год) при преобладающих ветрах южных румбов может отрицательно сказываться на экологической ситуации соседнего Болотнинского района.

Тогучинский район занимает переходные позиции от лесостепного равнинного Болотнинского к горным ландшафтам Маслянинского.

Тогучинский район – это предгорья подтаёжных ландшафтов с несколько более прохладным климатом. Среднегодовая t воздуха изменяется от -0.3 до -0.6°C , января -18.6° , июля 18.3° В сумме за год x изменяются от 440 до 460мм, за май-июнь – 90-95, август-сентябрь – 110мм. Для района характерен большой перепад высот, что вызывает значительные вариации микроклимата. ГТК, равный 1.4-1.5, отражает избыток влаги и недостаток тепла. По интенсивности экологической нагрузки район характеризуется определённым спадом валовых выбросов, что связано с сокращением производства и общим падением экономики. Например, снизилось количество работающих теплогенераторов в колхозах, совхозах, на предприятиях, это значительно уменьшило расход топлива, а, следовательно, и выбросы вредных веществ в атмосферу. Сократился автопарк, уменьшились перевозки груза, а значит, уменьшились и поступления в атмосферу углекислого газа, углерода, двуокиси серы, сажи. Общая величина снижения выбросов колеблется в пределах от 16 до 30%. Внедрены мероприятия по очистке отходов при переработке щебня, уменьшены выбросы зерновой пыли, сократился выброс цементной пыли. Природа Тогучинского района предельно ранима, ибо его положение в предгорьях а, значит, на большей высоте, способствует более активному переносу воздушных масс, и вытекающие с повышений водотоки также активнее переносят загрязнения. Поэтому антропогенные воздействия (как вынужденные, так и сознательные) вне сомнения положительно скажутся на природных экосистемах и их микроклиматических особенностях.

Маслянинский район по ландшафтно–климатическим закономерностям является непосредственным продолжением природы Тогучинского, ибо располагается на больших высотах к югу от последнего, и на территории обоих районов представлена Салаирская тайга, а в Маслянинском она является типичным ландшафтом. Но последний кроме того располагается и в двух подзонах вертикальной поясности: подтайги и тайги, и это накладывает существенный отпечаток на климат и микроклимат его ландшафтов. Климат более холодный и увлажнённый. Среднегодовая t воздуха колеблется от -0.7 до -0.9°C , июля $+18.0$, января $-19.9 - 20.1^{\circ}\text{C}$. Сумма x за год изменяется от 420 до 470мм, за май-июнь – до 95 – 120, август – сентябрь: 110 - 130мм, ГТК возрастает до 1.8 - 2.0 Загрязнение окружающей среды от предприятий и транспорта особенно сильно сказывается на экологической напряжённости соседних районов, ибо ЦА, господствующие ветры, сток вод активно переносят продукты загрязнения с более высоких территорий Маслянинского района на окружающие ландшафты.

К западу от Салаиро-Алтайской горной провинции, где таёжные климаты горного Салаира сменяются лесостепными климатами Приобья, расположен *Черепановский административный район*. Рельеф района – достаточно однообразная Черепановская приподнятая равнина, окаймленная увалами, высотой до 300 м. Климат становится заметно теплее, континентальнее, в отдельные годы - засушливее. Так, Причумышские подборовые ландшафты на южных склонах увалов меньше получают зимних осадков и чаще подвержены летней засухе. Северные же склоны Черепановской равнины увлажнены

сильнее и t несколько ниже. Среднегодовая t воздуха колеблется по территории от -0.1 до $+0.2^{\circ}\text{C}$, июля - от 18.0 до 18.8° , января от -19.0 до -18.2°C . Заметно повышается ГТК: 1.2-1.5 Экологическая ситуация складывается из загрязнения атмосферы и водно-почвенной оболочки района выбросами от промышленных предприятий и транспорта прежде всего из города Черепаново и Черепановского промышленного комплекса.

Весьма сложное природно-климатическое положение *Сузунского района*. Он занимает два типа ландшафтов: северную лесостепь на Сузунско-Мильтюшихинском плато и Сузунские боры подтаёжной зоны (2). Район находится на юге Новосибирской области, с запада примыкает к долине Оби и расположен на несколько повышенном Приобском плато. Характерно достаточно хорошее увлажнение и большая теплообеспеченность в сравнении с предыдущими двумя районами. Среднегодовые t по всему району положительны, изменяются от 0.1 до 0.2°C , в январе составляют -19.0 , в июле - $+18.8^{\circ}\text{C}$. Немного отличаются от двух предыдущих районов и x , которые составляют в среднем по территории 505 мм. С экологической точки зрения крайнее южное положение района можно рассматривать двояко: с одной стороны он фактически защищён от губительных выбросов из крупнейшего мегаполиса Сибири – Новосибирского, от цементного завода г. Искитима и промышленных предприятий г. Бердска; с другой стороны и в соответствии с особенностями циркуляции атмосферы находится под явным влиянием экологических отходов, превносимых сюда из Алтайского края.

Искитимский район расположен практически в центре всего Новосибирского Приобья, к востоку от Новосибирского водохранилища и Бердского залива. На фоне всего Правобережья отличается повышенной изрезанностью местности и своеобразием климата. Так, если для других районов характерно достаточное количество осадков, высокий ГТК, в балансе влаги и тепла однозначно отмечается преобладание влаги, то в Искитимской степи – характерного ландшафта данного района – наблюдается повышение t , понижение увлажнения, усиление засушливости. t положительна в среднем за год: от 0.0 до 0.3°C , в январе -18.8 , в июле до 19.0°C , x - от 420 до 440 мм за год, 80-90 в мае-июне и 90-95 мм в августе-сентябре. Наибольший экологический пресс обеспечивает ПО «Искитимцемент». Объём эмиссии загрязняющих веществ на человека только в Искитиме составляет 0.38 т в год. Помимо этого мельчайшие частички цемента легко разносятся ветром не только в пределах г. Искитима, близлежащих сельских хозяйств, но и далеко за пределы района. Это представляется тем более тревожным, что г. Искитим – один из наиболее крупных в области, а густота его сельских поселений от 1.5 до 2.0 сёл на 1000 кв. м, и более 2.0 сёл в северо-восточной части региона (3).

Итак, ландшафты Правобережья разнообразны: от степных, лесостепных до подтаёжных и горно-таёжных. В связи с этим в течение 5 лет мы провели микроклиматические исследования на природных комплексах (ПК) Искитимского хозяйства. Выделено 4 ПК.

Бердский ПК. Он располагается на южной и юго-западной окраине Искитимского совхоза на выположенных южных и юго-западных склонах и

широкой пойме долины р. Берди. Склоны распаханы и засеяны, крутые их части остепнены, а на склонах северной экспозиции растут берёзовые леса и кустарники, на террасах – сосновые боры. Почвы: выщелоченные среднесиловые чернозёмы, темноселые и луговые. По результатам наблюдений они градуированы нами как весьма тёплые недостаточно увлажнённые, что вполне согласуется с классификацией принятой в Левобережье области (4). Здесь наиболее высокие R (880,4 МДж/м² за летний период) и t воздуха и почвы, самые низкие показатели увлажнения (осадков, влажности воздуха и почвы). В связи с этим, на склонах южной экспозиции данного ПК сохраняются степные ландшафты, а ГТК опускается до 0.74.

Тальменский ПК располагается на западе Искитимского района, в некотором удалении от реки Берди. Большая часть площади распахана, понижения заболочены либо покрыты луговой растительностью, почвы – чернозёмы, выщелоченные и серые лесные, в понижениях – луговые и болотные. Тип местности – пересечённый с берёзовыми и осиново-берёзовыми лесами. Данный ПК характеризуется тёплым, умеренно-увлажнённым микроклиматом. В сравнении с Бердским ПК, R несколько ниже: 754,1 МДж/м², t воздуха за период ясных солнечных дней ниже на 1.1°C и на 0.5-0.7° в среднем за декаду, а увлажнённость воздуха на 1-5мб выше.

Барабинский ПК располагается на востоке хозяйства. Здесь распаханность сокращена, возрастают высоты местности, увеличиваются площади под лесами. Этот ПК определён нами как увалистый пересечённый с преобладанием сенокосных и пастбищных лугов и парковых берёзовых лесов на тёмно-серых оподзоленных и сильнооподзоленных, луговых и лугово-чернозёмных почвах. R здесь понижается до 16 ккал, среднесуточная t воздуха за период ясных дней составляет 19.7°C. Отмечено, что если t понижаются во всем районе, то в Барабинском ПК они самые высокие. Однако здесь возрастает влажность воздуха, увеличиваются x за сезон и возрастает ГТК до 0.84. Соответственно и микроклимат данного ПК определён как относительно тёплый, достаточно увлажнённый.

Калиновский ПК располагается на севере и северо-востоке совхоза. Здесь уменьшается распаханность, возрастают расчленённость местности и их высоты. Этот ПК - повышенный сопочно-лощинный сильно пересечённый с берёзовыми, берёзово-осиновыми лесами, разнотравно-злаковыми суходольными лугами и тростниково-дерново-осоковыми болотами на тёмно-серых, серых сильно оподзоленных и торфяно-болотных почвах. R в сумме за три месяца снижается до 11 ккал, t воздуха до 19.0°C, влажность воздуха в среднем за декаду возрастает на 2-7мб. В сравнении со всем хозяйством, здесь выпадает наибольшее количество x , а ГТК приближается к 1, составляя 0.95 в среднем за сезон. Это говорит об оптимальных условиях влаго- и теплообеспеченности. Микроклимат ПК охарактеризован как умеренно тёплый хорошо увлажнённый.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сляднев А.П. Географические основы климатического районирования и опыт их применения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины [текст] / А.П. Следнев // География Запад. Сибири, Новосибирск, 1965. - С. 3 - 122.
2. Почвенно-климатический атлас Новосибирской области. [текст]. - Новосибирск, «Наука» СО, 1978. 121 с.
3. Кравцов В.М. География Новосибирской области. [текст] / В.М. Кравцов, Р.П. Донукалова. - Новосибирск: «Инфолио–пресс», 1999. 205 с.
4. Воронина Л.В. Эколого-географическое значение тепловых условий почв солонцовых комплексов // Современные проблемы геодезии и картографии, Новосибирск, СГГА, 2003. С. 30 - 32.

© Л.В. Воронина, 2005

КЛИМАТ В XX ВЕКЕ И ОБСЫХАНИЕ ОЗЕР БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

В XX веке в связи с развитием метеорологии впервые стали возможными точные измерения климатических показателей практически на всей территории планеты. В этом же XX столетии впервые встал вопрос о глобальном воздействии человека на климат планеты.

При оценке периодов похолодания (приблизительно до 20-х гг.), потепления (до конца 40-х гг.) и последующего похолодания в 50-х, 60-х годах в XX в. были сделаны прогнозы изменения климата до конца столетия. Предполагалось, что в предстоящее 30-летие повысится ледовитость арктических морей, увеличится континентальность климата в Западной Сибири, снизятся температуры зимних месяцев. Севернее 600 с.ш. в январе возможно преобладание отрицательных аномалий. Небольшое повышение температуры ожидалось, по мнению ряда исследователей, лишь в 80-е годы или к концу XX века [1, 2].

Но уже в 80-х годах XX в. было установлено, что за последние десятилетия в результате сжигания различных видов топлива концентрация CO_2 в атмосфере увеличилась на 0,003%, т.е. на 10% ее величины. На основании анализа комплексных моделей климата был сделан вывод, что если сохранится нынешняя скорость поступления парниковых газов в атмосферу, возможно повышение средней температуры примерно на 1°C всего за 30 лет.

В 1990-х гг. Модели глобальной циркуляции (МГЦ) предсказывали повышение средней глобальной температуры на величину от $1,5$ до $4,5^\circ\text{C}$ вследствие "эффективного удвоения" количества двуокиси углерода по сравнению с его уровнями в доиндустриальную эпоху [3].

В результате потепления климата увеличилось расстояние до зоны вечной мерзлоты в Аляске и Канадской Арктике, возросла средняя температура озер в Канаде, уменьшилась годовая максимальная протяженность ледникового покрова в Антарктиде и Арктике, уменьшилось количество айсбергов в Европе и в других районах [4].

Новейшие климатические модели убедительно показали картину распространения засухи от 5% в настоящее время, до 50% к 2050 г., в тех районах, которые уже страдают от засухи (Северная Африка, Южная Америка, часть Восточной Бразилии и другие зоны).

Ускорение процесса потепления Земли будет значительно сокращать территории, занятые лесами. Потепление на 1°C и засуха ограничат распространение лесов и приведут к замещению 100-200 млн га леса на степные зоны [3].

Основным показателем происходящего потепления климата является увеличение среднегодовой глобальной температуры воздуха, наиболее четко проявившееся с конца 1970-х гг. Процесс потепления заметно ускорился в 1980-е и 1990-е гг., когда наблюдались рекордные для XX столетия положительные аномалии средней глобальной температуры.

В 1991-1995 гг. положительные аномалии температуры воздуха увеличились на 1-2⁰С по сравнению с 1981-1990 гг. на обширной зарубежной территории Евразии и на территории России.

Наибольшее увеличение зимних температур составило 3-4⁰С в Центральной Сибири. Выше нормы на 2,0-2,5⁰С была температура воздуха на остальной части России и на 0,5-2,0⁰С - в Центральной и Северной Европе.

В Северной Америке в зимний сезон наибольшие положительные аномалии температуры воздуха (около 2⁰С) наблюдались на Аляске и северо-западе Канады. На основной части Североамериканского континента положительные аномалии температуры воздуха (в пределах 1⁰С) в 1991-1995 гг. распространялись на большей площади по сравнению с 1981-1990 гг.

Следует отметить наличие области отрицательных аномалий температуры воздуха зимой в 1981-1995 гг. в Гренландии и на северо-востоке Канады. Температура воздуха в этих регионах была ниже нормы на 0,5-1,0⁰С в 1980-х гг. и на 1,0-2,5⁰С в 1990-х.

В летний сезон почти по всей территории Евразии в 1991-1995 гг. площадь небольших (0,5-1,0⁰С) положительных аномалий температуры воздуха увеличилась по сравнению с 1980-ми гг.

В летние месяцы потепление на континентах северного полушария в 1980-х - 1990-х гг. составило от нескольких десятых до 1,0⁰С, что меньше прогнозируемого повышения температуры, равного 1,0-1,5⁰С.

В подавляющем большинстве крупных регионов Западной Европы, России, Канады и США наблюдалось устойчивое повышение температуры воздуха от 1980-х к середине 1990-х гг.

Значительно возросла температура воздуха (на 1,4-1,6⁰С) от десятилетия 1980-х к пятилетию 1990-х гг. в Западной и Центральной Европе, на европейской части России и в Сибири. В этих регионах аномалии температуры в 1991-1995 гг. были близки к аномалиям, ожидаемым по прогнозу на 2005 г. При этом наибольшее (2,9⁰С) увеличение температуры произошло на севере Западной Европы, где аномалии в первой половине 1990-х гг. превзошли прогнозируемое повышение температуры воздуха.

Отчетливо выраженное увеличение температуры воздуха от 1980-х к 1990-м гг. (на 0,5-1,0⁰С) отмечается также в двух других регионах: на Аляске и северо-западе Канады, на юге и западе США. В этих регионах аномалии температуры в 1991-1995 гг. почти достигли или уже превзошли прогнозируемые на начало XXI в.

Незначительно возросла температура воздуха за период с 1981 по 1995 гг. в Южной Европе, на европейской части СНГ, а также на юге Канады и севере США. Здесь повышение температуры оказалось на 0,7-0,9⁰С ниже прогнозируемого.

Лишь на севере Сибири, северо-востоке Канады и западе Гренландии расхождения между аномалиями за 1991-1995 гг. и аномалиями по прогнозу на 2005 г. оказались большими. При этом на северном побережье Сибири отмечается незначительное увеличение температуры воздуха от 1980-х к

1990-м гг., а на северо-востоке Северной Америки происходило понижение температуры в 1981-1995 гг. [5, 6].

На основе анализа литературы XVII-XX в., и в XX в. на основе фактических наблюдений над колебаниями уровня озер Западной Азии было установлено наличие хорошо выраженной внутривековой цикличности с конца XVII в. до современности. Было выяснено, что продолжительность циклов за 2,5 столетия не выходила за пределы 19-47 лет (19-20-летний цикл был всего один, а остальные были не короче 29 лет), каждый из циклов состоит из двух фаз: фазы повышенной увлажненности (трансгрессивной) и фазы пониженной увлажненности (регрессивной).

С точки зрения многолетней изменчивости режима озер представляет значительный интерес многолетняя изменчивость стока рек рассматриваемой территории. Анализ распространения многоводных и маловодных фаз в стоке рек равнинной территории Западной Азии указывает на то, что основные группы много- и маловодных лет в бассейнах рек, совершенно различных и удаленных друг от друга, как правило, оказывается синхронным. Это свидетельствует о том, что основные закономерности формирования среднего годового стока равнинной территории Западной Азии определяются не локальными причинами, а причинами широкого масштаба – в первую очередь характером атмосферной циркуляции [7].

Озера равнинного питания, огромное количество которых расположено на юге Западной Сибири являются исключительно хорошими индикаторами состояния общей увлажненности их бассейнов, а поскольку их здесь очень много, они тем самым отражают и в то же время в некоторой степени регулируют общую увлажненность этой обширной территории. Будучи при современных климатических условиях в подавляющем большинстве бессточными, они испаряют всю поступающую в них воду, тем самым несколько умеряя засушливость климата, в то же время и расходуя выпадающие здесь атмосферные осадки.

Изучение истории озер Срединного региона за 2,5 столетия свидетельствует о том, что в XVIII в. и в первой половине XIX в. состояние общей увлажненности здесь было более или менее удовлетворительным, а иногда и благоприятным. Однако с середины XIX в. наметилась тенденция к снижению общей увлажненности, которая сохраняется в настоящее время; она нарушается примерно через три десятилетия внутривековыми колебаниями климата. Соответственно, постепенно усыхают и озера Срединного региона, еще более способствуя дальнейшему снижению общей увлажненности территории.

Тревожным явлением представляется и тот факт, что в течение всего XX в. наблюдалась тенденция к увеличению числа летних атмосферных засух. На фоне этой вековой тенденции отлично выделяются процессы внутривековой изменчивости, что еще больше подтверждает устойчивость векового процесса.

Важно подчеркнуть, что режим колебаний уровня огромного озера Чаны в Барабинской степи строго подчинен режиму атмосферных засух. В некоторой степени признаки устойчивого снижения общей увлажненности степных

территорий Западной Азии проявляются и в стоке небольших рек равнинного питания [8, 9].

Проведенный климатологами Главной геофизической обсерватории анализ годовых осадков за 1961-1981 гг. показал, что в Обь-Иртышском районе в среднем за год в отдельные годы (1962, 1964, 1965, 1967, 1973, 1974) осадки составили 85-95%, а в 1980 и 1981 гг. - 76-85% нормы [10].

Для оценки изменения климата в районе озера Чаны в XX в. нами была предпринята попытка анализа метеоданных с 1934 по 2003 г. по метеостанции г. Здвинска. На рис. 1. приведен график изменения температуры воздуха, построенный на основании сравнения среднемесячных температур в каждом конкретном месяце со среднемесячными за весь период наблюдения, т.е. график температурных аномалий на протяжении 840 месяцев [11]. Из графика хорошо видна тенденция к устойчивому росту температуры воздуха в районе озера Чаны.

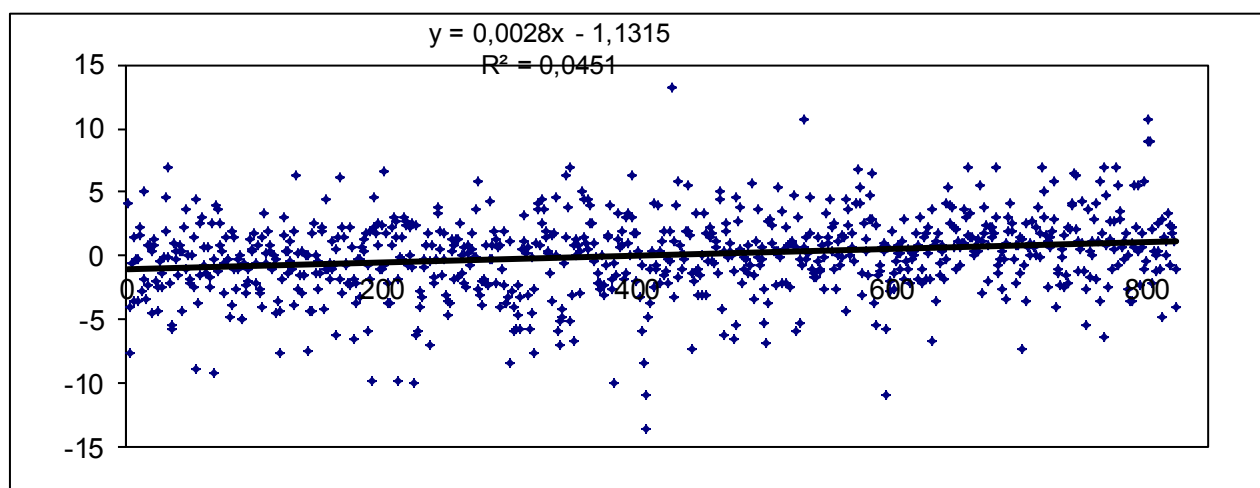


Рис. 1. Аномалии среднемесячной температуры воздуха по сравнению со среднемесячными многолетними температуры воздуха за период 1934-2003 гг.

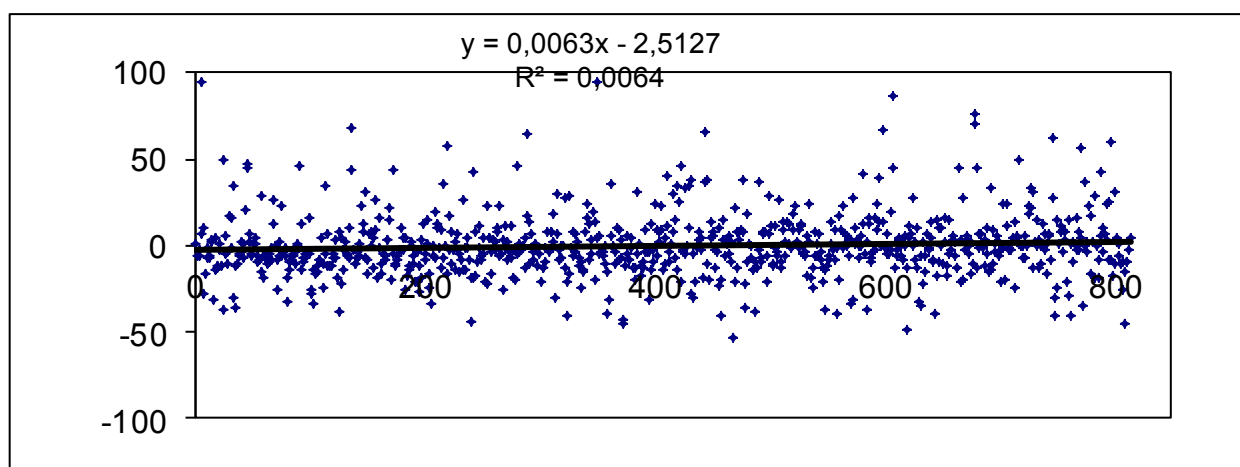


Рис. 2. Аномалии месячных сумм осадков по сравнению со среднемноголетними месячными суммами осадков за период 1934-2003 гг.

Анализ аномалий месячных суммарных количеств осадков по сравнению со среднемноголетними месячными суммами количества осадков за период 1934-2003 гг. по Здвинской метеостанции продемонстрировал незначительный общий рост увлажненности Причановской территории Барабы. Но анализ аномалий по отдельным месяцам за весь период наблюдений показал, что количество осадков в целом увеличивается во все месяцы года кроме июня и июля (в эти месяцы количество осадков в целом уменьшается), т.е. в месяцы с наибольшей инсоляцией и наибольшими температурами воздуха.

Таким образом, глобальные изменения климата проявляются и на территории водосборного бассейна озера Чаны. На протяжении последних 70 лет наблюдается устойчивая тенденция к увеличению среднемесячных температур воздуха на протяжении всех 12 месяцев года. Наблюдается также незначительное общее увеличение суммарного количества осадков, но в месяцы с наибольшей испаряемостью (июнь и июль) количество осадков на Причановской территории Барабы за последние 70 в целом снижается. Все эти тенденции свидетельствуют о постепенном усилении аридности климата юга Западной Сибири и сохранении тенденции к снижению водности рек и обсыханию озер Барабинской равнины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Захаров В.Ф. Похолодание Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики", 1974, вып. 45.
2. Региональные географические прогнозы. Вып. 2. Современное состояние и некоторые тенденции изменения природной среды. Западная Сибирь. Под. Ред. А.А. Макункиной, З.Н. Цветаевой, М., изд-во МГУ, 1980. 208 с.
3. Глобальное потепление: Доклад Гринпис / Под ред. Дж. Леггетта. Перевод с английского. - М.: Изд-во МГУ, 1993 – 272 с.
4. Houghton R.A., Woodwell G.M. Global climatic change. // Scientific American - Apr. 1989, pp 36-44.
5. Изменения климата и их последствия. Отв. ред. Г.В. Менжулин. - СПб.: Наука, 2002. 269 с.
6. Труды ГГИ, вып. 271. Исследование изменений климата и влагооборота, под. ред. М.И. Будыко, Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 129 с.
7. Озера полуаридной зоны / А.В. Шнитников, Т.Б. Форш, Л.А. Земляницына и др. – Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. – 288 с.
8. Шнитников А.В. Озера Срединного региона (историческая изменчивость и современное состояние) - Л.: Наука, 1976. – 559 с.
9. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности / А.В. Шнитников. – Л.: Наука, 1968. - 246 с.
10. Борисенков Е.П. Изменения климата и человек - М.: Знание, 1990. – 62 с.
11. Conen F., Yakutin M.V. Sambuu A.D. Potential for detecting changes in soil organic carbon concentrations resulting from climate change // Global Change Biology, 2003, V. 9, P. 1515 - 1520.

© Л.Ю. Анопченко, 2005

**К МЕТОДОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ
ЗЕМЕЛЬ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Проблемы антропогенных нарушений окружающей природной среды в районах нефте- и газодобычи и, в первую очередь, интенсивное ее загрязнение нефтепродуктами связаны с разведкой, разработкой, эксплуатацией месторождений и транспортировкой углеводородного сырья. В связи с этим в настоящее время усиливается интерес к изучению поведения нефте-солевых загрязнителей в природных ландшафтах Западной Сибири.

Важнейшими системоформирующими факторами данной макросистемы вместе с климатическими показателями территории (солнечная радиация, циркуляция воздушных масс и атмосферные осадки) являются геолого-геоморфо-

логические особенности участков. Они определяют поведение воды на поверхности и в толще почво-грунтов и влияют на весь комплекс условий развития растений (тепловой, воздушный, питательный и др. режимы). Растительность при этом часто служит важнейшим индикатором условий среды. То есть в пределах генетически неоднородной территории Западной Сибири в зависимости от геолого-геоморфологических особенностей участка и трансформации климатических характеристик происходит дифференциация единой природной макросистемы на мезосистемы по комплексу условий.

На рисунке показана одна из вероятных, последовательных трансформаций климатических показателей над долинно-водораздельным комплексом, связанная с определенным, господствующим направлением циркуляции атмосферы в пределах равнины. Другие направления перемещения воздуха, конечно, будут иметь какие-то свои особенности влияния на подстилающую поверхность, но вполне закономерное пространственное устройство Западной Сибири также обеспечит ее дифференциацию на геосистемы более низких рангов. Разделение геосистемы по рангам, их диагностика и индикация, имеет основное значение в правильности выбора критериев оценки сложного природного пространства и использования способов дешифрирования информации о природных процессах.

Экологический мониторинг как система комплексных и длительных наблюдений за природными процессами и за процессами поступления, миграции, трансформации веществ-загрязнителей в ландшафтах должен быть точно привязан к постоянным пунктам с определенными и четкими (не имеющими возможности двоякого толкования) характеристиками среды – абсолютным отметкам высот, геоморфологическим, литологическим, гидрологическим и др. показателям. Это обязательное условие проведения мониторинговых работ определит возможность использования различных методов исследования и возможности экстраполяции результатов на другие генетически сходные территории.

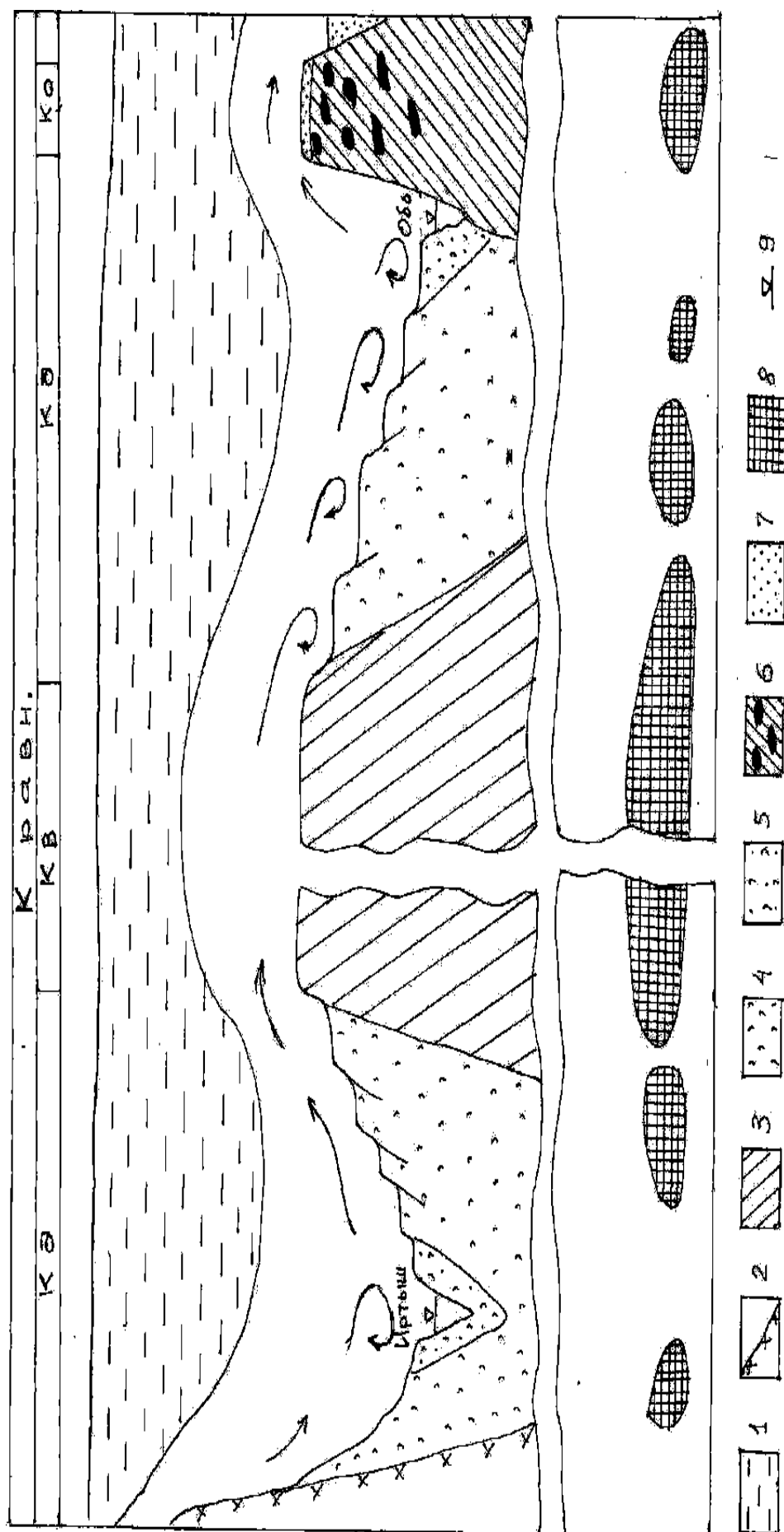


Схема изменения атмо-литоморфологического комплекса и формирования иерархии природных геосистем в пределах центральной части Западно-Сибирской равнины (сост. согласно Шепелеву, Шепелевой, 1995)

Условные обозначения:

Климат: К равн. – равнины; К д – долинного комплекса террас; К в – водораздела; К о – останца; 1 – слой воздуха соприкасающийся с подстилающей поверхностью.

Породы: 2 – предгорного обрамления; 3 – водораздела; 4 – долинного комплекса террас; 5 – аллювий; 6 – останца ледникового генезиса; 7 – водно-ледникового генезиса; 8 – вечно мерзлые грунты. 9 – уровень воды в руслах.

К сожалению, в настоящее время мониторинговые исследования, осуществляемые и научными и производственными организациями, выполняются зачастую без такой привязки, что не позволяет использовать информацию с других территорий.

Основной целью данной работы явилось установление различий геолого-геоморфологических характеристик территории долины Оби в пределах центральной части Западно-Сибирской равнины и на этой основе организация системы постоянных площадок для проведения экологического (комплексного) мониторинга. Ведущим показателем для разграничения природных геосистем в пределах макрогеосистемы послужило превышение уровней поверхности каждого участка суши над меженным уровнем воды в водотоках – местных, расположенных в пределах данного геолого-геоморфологического образования, и в основном русле – в русле реки Оби. Именно эти характеристики определяют скорость и особенности миграции природных вод в ландшафтах, а, следовательно, и особенности почв и состояние растительного покрова, и миграцию загрязнителей.

Изучение территории проведено сопоставлением информации по ряду топографических (различного масштаба – от 1:25 000 до 1:500 000) и геоморфологических карт (Геоморфология Западно-Сибирской равнины, под ред. И.П. Варла-

мова, 1972) и наземными натурными исследованиями ландшафтов в трансекте, расположенном вдоль автодороги Сургут-Тобольск (Ханты-Мансийский автономный округ). Результаты исследования приведены в таблице. Рельеф террас всех уровней плоско- и грядово-заболоченный. Однако террасы отчетливо различаются по комплексу показателей. Во-первых, по высотным отметкам поверхности суши над меженью воды, как в местных водотоках, так и в основном русле Оби, что обуславливает различную степень дренированности грунтов участков отдельных террас (степень подпертости почвенно-грунтовых вод водотоками). Во-вторых, по различному гранулометрическому составу пород террас (от песков до тяжелых суглинков), что также обеспечивает различия в степени обводненности и дренированности поверхности. Такой существенный комплекс различий обеспечивает и степень (интенсивность) миграции вод атмосферных осадков (в форме поверхностных и грунтовых потоков вод), вызывает различия в создании термических режимов почво-грунтов, формирует особенности растительного покрова и, в конечном итоге, должен сказаться на микробной деструкции углеводородных загрязнителей и на характере миграции легкорастворимых солей.

В пределах выделенных пойменного, второго и четвертого надпойменных уровней в 2003-2004 годах выбраны для наземных наблюдений участки нефтяных загрязнений и проведены детальные исследования (почвенное и геоботаническое картографирование, нивелировка поверхности) с закладкой точек наблюдений, охватывающих основные геохимические позиции ландшафтов. На точках, которые представляют собой элювиальные, транспортные и аккумулятивные позиции геохимического ландшафта (по Б.Б.

Полынову), отобраны смешанные образцы почв для исследования химического состава и физико-химических свойств.

В настоящее время при общем понимании необходимости комплексности экологических работ и использования различных методов исследования ландшафтов, предпочтение отдается методам дистанционного изучения физических свойств поверхностных компонентов (в первую очередь, растительности), методам позволяющим охватить значительные пространства. Биотические компоненты природной системы хоть и «физиономичны», и могут характеризоваться четко фиксируемыми показателями (цвет, отражающая способность), все же весьма интегративны, обобщающи. То есть, при оценке территории по одному компоненту происходит усреднение различий отдельных участков в важнейших условиях развития растений (водный и тепловой режимы и пр.). Это, а также общая изменчивость растительности (в том числе цикличность флуктуаций) во времени и пространстве при высокой экологической пластичности растений затрудняет интерпретацию информации получаемой дистанционными методами о реальных режимах и процессах в природных системах.

Таблица. Некоторые генетические характеристики террасового комплекса долины Средней Оби (Сургутское Приобье)

Уровень надпойменной террасы	Средние отметки высоты, м	Отметка уровня поверхностных вод террасы, м	Разница отметок суши и вод местных рек, м	Разница отметок суши и вод Оби, м	Гранулометрич. состав грунтов	Растительность
Q ₃₋₄ – первый	40	28	0	12	Супесь	Сосново-осиновый лес
Q ₃ – второй	49	38	11	21	Супесь-мелкозернистый песок	Сосново-кедровый кустарничково-зеленомошный лес
Q ₂₋₃ – третий	63	59	4	35	Супесь-мелкозернистый песок	Сосновый зелено- и беломошный лес
Q ₁₋₂ – четвертый	83	60	23	55	Суглинки	Темно-хвойный мелкотравный зеленомошный лес

Таким образом, мониторинговые наблюдения за состоянием компонентов природы (растительности, почв, вод и др.) на постоянных площадках, выполняемые различными методами, позволят получить сравнимые и

достоверные данные по варьированию физических свойств поверхностных образований в пределах террас и тем самым охарактеризовать поведение различных загрязнителей и могут быть использованы для характеристики современных процессов на всей территории центральной части Западно-Сибирской равнины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (объяснительная записка к карте // Под ред. И.П. Варламова. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1972.

2. Шепелев А.И., Шепелева Л.Ф. Принципы эколого-хозяйственной оценки пойменных земель (почвенно-генетические аспекты). Вып. 5. Томск: Изд. Красное Знамя, 1995.

© А.И. Шепелев, Л.Ф. Шепелева, В.Н. Фролов, Р.Г. Мазитов, 2005

УДК 625.73

О.В. Адмаев, Т.В. Гавриленко

КрасГАСА, Красноярск

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИДОРОЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ CREDO

Экологическое качество автомобильной дороги определяется последствиями воздействия ее сооружений и транспортного потока на окружающую среду. При экологическом анализе необходимо знать величину концентрации вредных веществ в некоторой определенной точке придорожного пространства, с учетом вклада каждого источника (участка дороги) в общую концентрацию в данной расчетной точке [1].

Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу в составе отработавших газов, зависит от общего технического состояния автомобилей и особенно от двигателя – источника наибольшего загрязнения. Исследования состава отработавших газов двигателей внутреннего сгорания показывают, что в газах содержится несколько десятков токсичных компонентов, оказывающих непосредственное воздействие на окружающую среду: окись углерода, углеводороды, окислы азота, сажа и соединения свинца. Известно весовое количество этих вредных веществ в отработавших газах полностью исправных двигателей автомобилей, образующихся при сгорании автомобильного топлива (табл. 1) [2].

Анализ табличных данных показывает, что наибольшей токсичностью обладает выхлоп карбюраторных двигателей внутреннего сгорания за счет большего выброса CO , NO_x , C_nH_m и др. Дизельные двигатели выбрасывают в больших количествах сажу, которая в чистом виде не токсична. Однако частицы сажи несут на своей поверхности токсичные вещества, в том числе и канцерогенные. Сажа может длительное время находиться во взвешенном состоянии в воздухе, увеличивая тем самым время воздействия токсичных веществ на человека и окружающую среду.

Таблица 1. Весовое количество вредных веществ в отработавших газах двигателей автомобилей

Вредные выбросы	Количество вредных выбросов, кг, на 1000 кг сгоревшего топлива в цилиндрах двигателя	
	Бензинового	Дизельного
Окись углерода (CO)	267	28,4
Углеводороды (C _n H _m)	33,2	9,1
Окислы азота (NO _x)	26,6	40,8
Сернистый газ (SO ₂)	1,34	34,0
Сажа (C)	1,34	3,4
Свинец (Pb)	0,266	–
Всего:	329,7	115,7

Анализ экологической обстановки и разработка мероприятий по снижению неблагоприятного воздействия могут быть выполнены с помощью комплекса программ автоматизированного проектирования дорог CREDO, подсистемы CAD_CREDO [3]. В данном комплексе реализована методика, в которой все токсичные вещества приведены к одному условному показателю обобщенной токсичности, вычисляемому по формуле

$$T = C_{co} + K_{ch} * C_{ch} + K_{no} * C_{no} + K_{сж} * C_{сж} + K_{pb} * C_{pb}, \quad (1)$$

где C_{co} , C_{ch} , C_{no} , $C_{сж}$, C_{pb} – концентрация соответственно оксида углерода, углеводородов, оксида азота, сажи, свинца; K_{ch} , K_{no} , $K_{сж}$, K_{pb} – коэффициенты относительной токсичности углеводородов, оксидов азота, сажи, свинца, вычисленные по отношению ПДК оксида углерода (3 мг в м³) к ПДК этих веществ.

Авторы данной работы воспользовались программным комплексом CREDO в качестве инструмента метеорологического моделирования для исследования зависимости уровня транспортных выбросов от температурных и ветровых изменений. Роза ветров (повторяемость в процентах) предполагалась известной. Значения коэффициента температурной стратификации соответствовали благоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосфере максимальна: 140 – Россия, 180 – Европа, 200 – Сибирь, 250 – Средняя Азия. Температура атмосферного воздуха принималась равной средней максимальной температуре наиболее жаркого месяца согласно СНиП 23-01-99 [4].

С помощью комплекса CREDO выполнены экологические расчеты для федеральной автомобильной дороги М54 «Енисей», запроектированной на цифровой модели местности автоматизированным способом. В ходе исследований получены данные по выбросам CO, NO_x, C_xH_y, Pb, обобщенной токсичности (OT), уровню шума при различных скоростях ветра, в частности при 0,5 м/с – минимальной из средних скоростей ветра по румбам за самый жаркий месяц в данной местности [4].

В качестве примера рассмотрим результаты анализа экологической обстановки участка федеральной автомобильной дороги, которая проходит вдоль реки Енисей по среднехолмистому рельефу вблизи природоохранной территории – государственного заповедника «Столбы».

На рис. 1. показаны границы рассеивания выбросов вредных веществ (оксидов углерода и азота, свинца), уровня шума и обобщенной токсичности, рассчитанной по формуле (1). В указанных границах концентрации превышают предельно допустимые значения. По оси абсцисс обозначены пикеты, расстояние между которыми 100 м.

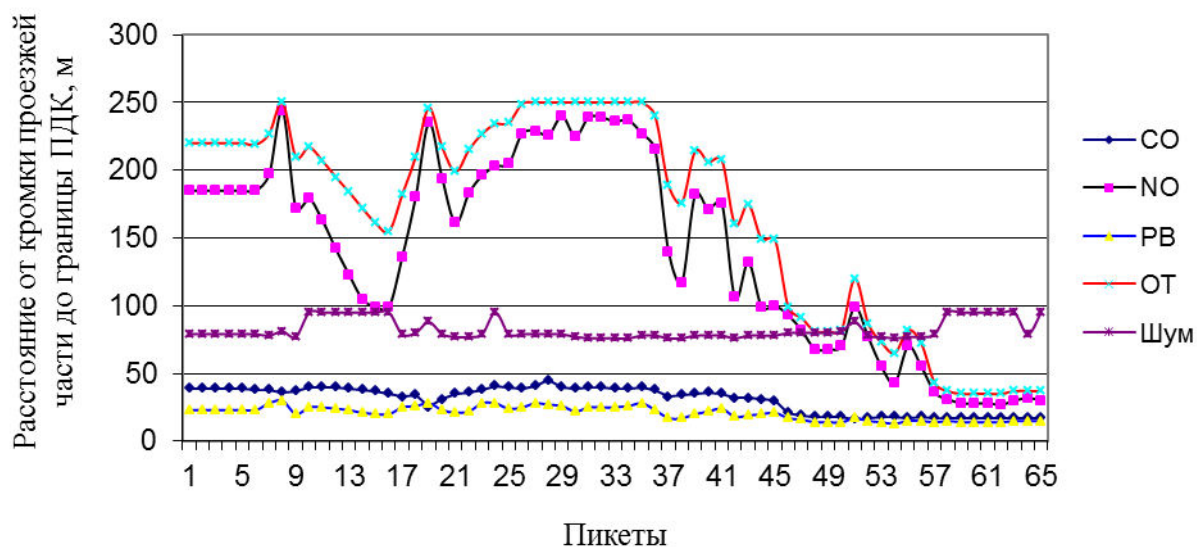


Рис. 1. Положение границы ПДК по веществам и шуму при скорости ветра 0,5 м/с до проведения лесопосадочных мероприятий

В целях ограничения зоны распространения выбросов транспортного потока были предложены мероприятия по снижению воздействия автомобильной дороги на природоохранную территорию. Наиболее эффективными из них считаются лесопосадки, состоящие из нескольких рядов деревьев, высаженных вдоль автомобильной дороги. Одной из лучших хвойных пород для устройства живых изгородей является ель.

Для рассматриваемого участка трассы были проведены расчеты по снижению неблагоприятного воздействия с учетом двухрядной лесополосы из ели при двух значениях скоростей ветра 0,5 м/с и 2,3 м/с. Результаты расчетов после устройства защитной полосы приведены на рис. 2.

Из графиков видно, что на выбранном участке лесопосадочные мероприятия существенно уменьшили лишь зону распространения шума, тогда как посадка деревьев должна привести и к значительному уменьшению зоны распространения вредных выбросов.

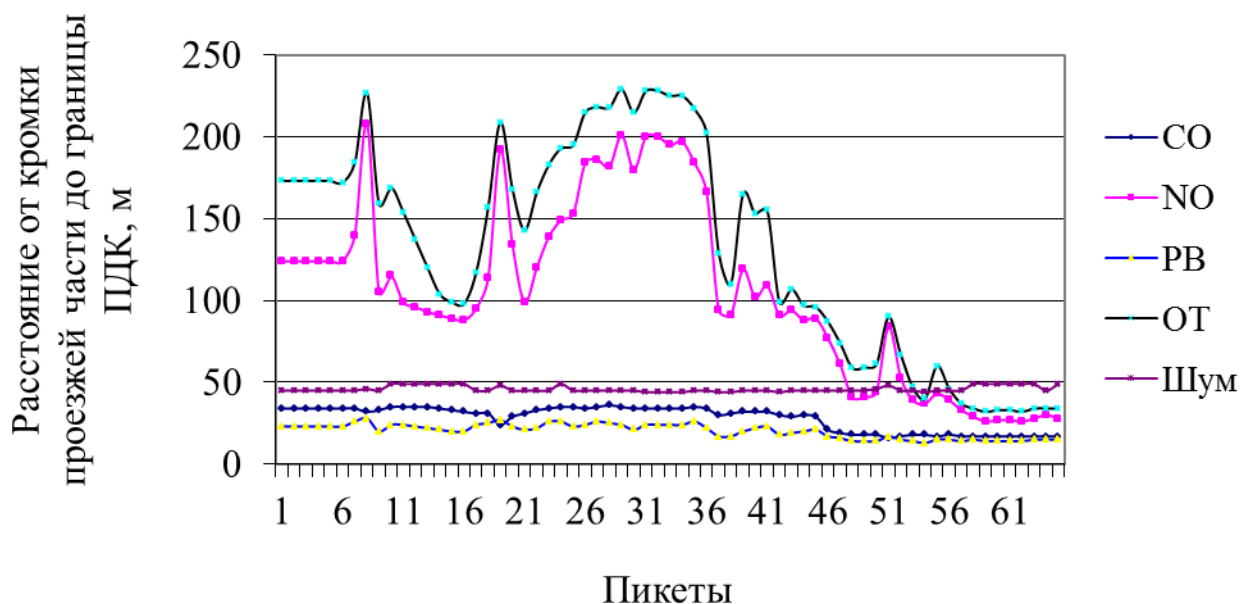


Рис. 2. Положение границы ПДК по веществам и шуму при скорости ветра 0,5 м/с после проведения лесопосадочных мероприятий

Таким образом, методика расчетов, заложенная в алгоритм программы CAD_CREDO, не позволяет адекватно оценить уменьшение уровня неблагоприятного воздействия, вызванное поглощением деревьями вредных выбросов.

Значения выбросов CO, Pb и шумового воздействия связаны со скоростью транспортного потока, которая, в свою очередь, обусловлена изменением продольного и поперечного профилей автомобильной дороги, других ее характеристик. Результаты по многолетним отложениям свинца представлены на рис. 3.

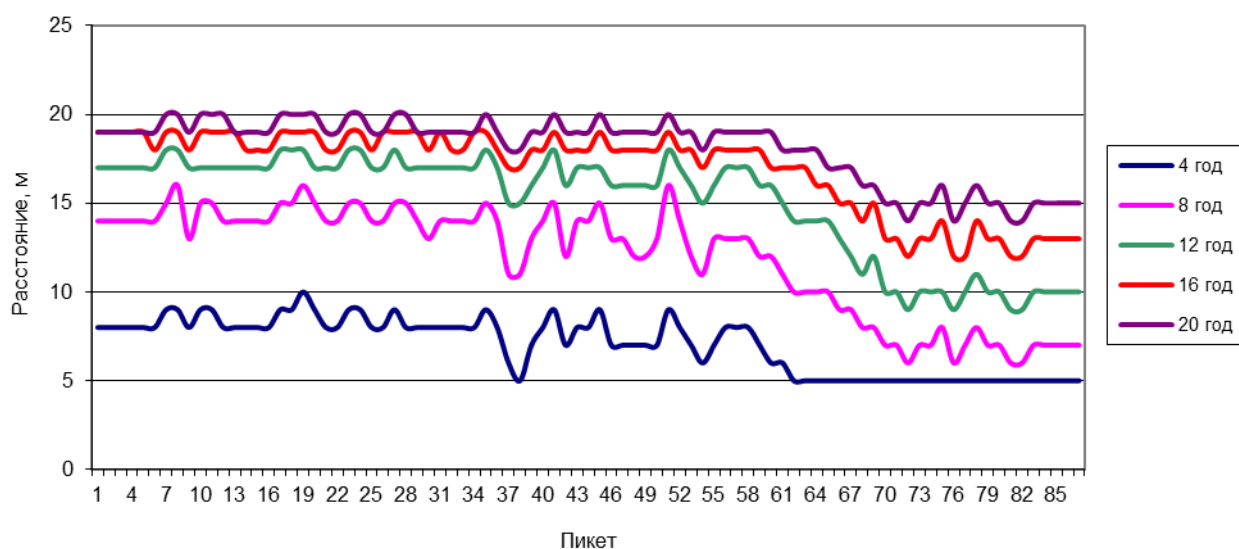


Рис. 3. Положение границы ПДК по отложениям свинца в зависимости от года эксплуатации (справа от дороги)

Для оценки критической величины транспортного потока был проведен статистический анализ данных по выбросам. Концентрации выбросов вредных веществ, шума и ОТ рассматривались как случайные величины. Для каждой пары величин строились интервальный и дискретный вариационные ряды распределения частот и относительных частот наблюдаемых значений, проводился корреляционный анализ. На рис. 4 приведены коэффициенты корреляции между различными воздействиями при трех значениях средних скоростей ветра. Точкам на рисунках соответствуют коэффициенты корреляции для следующих пар: 1 – CO и NO_x; 2 – CO и C_xH_y; 3 – CO и Pb; 4 – CO и ОТ; 5 – CO и шум; 6 – NO_x и C_xH_y; 7 – NO_x и Pb; 8 – NO_x и ОТ; 9 – NO_x и шум; 10 – C_xH_y и Pb; 11 – C_xH_y и шум; 12 – Pb и ОТ; 13 – Pb и шум; 14 – шум и ОТ.

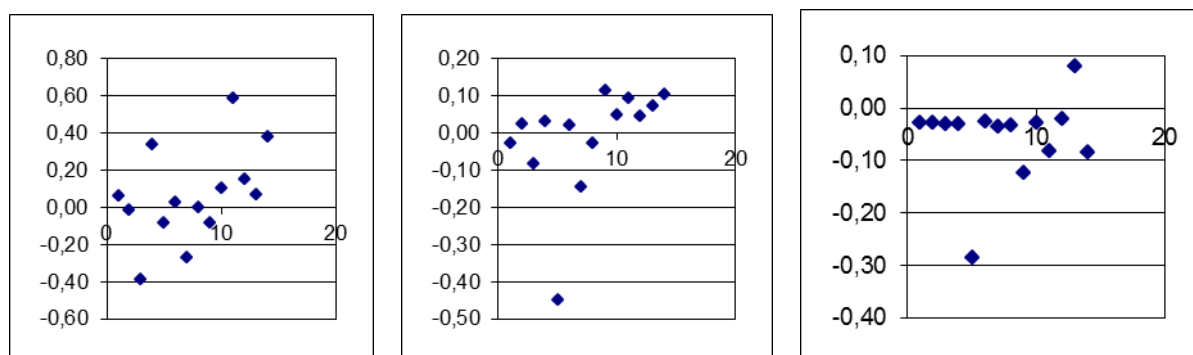


Рис. 4. Коэффициенты корреляции при скорости ветра:

а) 0,5 м/с; б) 3,0 м/с; в) 5,0 м/с

Анализ показал, что с увеличением скорости ветра коэффициенты корреляции стремятся к нулю. При скоростях ветра более 3 м/с корреляционные связи практически отсутствуют. Это связано с быстрым рассеянием выбросов при больших скоростях ветра. Зато возрастает обратная корреляционная связь между шумом и СО. При скорости ветра 0,5 м/с, являющейся минимальной из средних значений в самом жарком месяце, наблюдается корреляционная связь между C_xH_y и шумом, а также заметная связь между СО и Pb, СО и ОТ и шумом и ОТ.

Проведенные расчеты экологической обстановки показали, что используемая в программном комплексе CREDO методика требует дальнейшей разработки. В [1] отмечается, что при экологическом анализе влияния автомобильного транспорта на окружающую среду необходимо учитывать особенности источника выбросов, под которым понимается некоторый участок автомобильной дороги с проезжающим по нему транспортом. Они следующие: 1) отработавшие газы автомобильных двигателей быстро и принудительно смешиваются с воздухом в пределах проезжей части дороги; 2) выбросы быстро принимают температуру окружающего воздуха; 3) автомобильная дорога представляет собой линейный объект сложной конфигурации в плане и продольном профиле; 4) объемы выбросов обусловлены меняющимися параметрами дороги и переменны по ее длине.

Указанные особенности автомобильно-дорожного источника требуют разработки специальной математической модели, основанной на уравнении диффузии с соответствующими начальными и граничными условиями, и алгоритмов расчета концентраций вредных веществ в придорожном пространстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Говорущенко Н.Я., Филиппов В.В., Величко Г.В. Проблемы и методы оценки экологического и энергетического качества автомобильных дорог // Автоматизированные технологии CREDO-2000. - С. 45 - 51.
2. Орнатский Н.П. Автомобильные дороги и охрана природы. – М.: Транспорт, 1982. – 176 с.
3. CAD_CREDO. Проектирование автомобильных дорог. – Руководство пользователя. – Т. 5. – Книга 1. - 43 с.
4. СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Минстрой России. – М.: ГПЦПП, 2000.

© О.В. Адмаев, Т.В. Гавриленко, 2005

УДК 556.332:556.388:620.9(571.51)

Г.В. Загивная, Т.П. Иванова

ОАО «Красноярскгеология», Красноярск

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ ВОД АЛЛЮВИАЛЬНОГО ГОРИЗОНТА В РАЙОНЕ ЗОЛОТВАЛА КРАСНОЯРСКОЙ ТЭЦ-3

Экологический мониторинг проводится с целью изучения техногенного воздействия на природную среду золошлаковых отходов теплоэлектроцентрали и оценки масштабов загрязнения, программой мониторинга предусматривается непрерывные наблюдения за состоянием поверхностных и подземных вод.

Образующиеся в результате производственной деятельности золошлаковые отходы, Красноярской ТЭЦ-3 размещаются на золоотвале пойменного типа, состоящего из двух рабочих секций, пруда осветленной воды и пруда отстойника промывочной и ливневой воды. Экологический контроль над изменением состояния подземных и поверхностных вод начат в 1992 г.

В химическом составе теплоэнергетической золы Красноярской ТЭЦ-3 преобладающими являются оксиды кальция (CaO) и кремния (SiO₂), содержание которых достигает 30-50%. Содержание триоксида алюминия (Al₂O₃) изменяется в пределах 10-13%. Содержание оксида магния (MgO) и триоксида железа (Fe₂O₃) до 9%. Кроме этого, из нормируемых компонентов в золе часто встречаются и имеют высокие концентрации стронций, барий, титан, марганец, фтор, бор, никель, цинк.

Вместе с тем, зола в отходах представлена не оксидами, окислами и элементами в свободном виде, а в составе минеральных образований. При сжигании углей в мощных котельных установках происходит существенное геохимическое преобразование первичного вещества углей, выражающееся в образовании природных и новых искусственных минералов. Собственные минералы образуют кремний, кальций, алюминий, железо, магний и сера. Натрий, калий и микроэлементы не являются минералообразующими. Они присутствуют в минералах в виде изоморфных примесей к компонентам их

химических формул. Минеральный состав золы Красноярской ТЭЦ-3 по данным рентгенофазового анализа представлен альфа-кварцем, кальцитом, ангуритом, муллитом. Основными минералами «сухих» золошлаков являются: шаннонит, алюмоферрит, ангидрит, кальций.

Формирование химического состава водной среды в золошлаковых отвалах обусловлено интенсивным взаимодействием твердой фазы золошлаковых отходов, воды и атмосферного воздуха. При этом происходит интенсивная минерализация и гидратация водной среды, в раствор переходят сульфаты, ионы натрия и хлора. Доминирующее значение имеет катион кальция (до 291 мг/л); минерализация достигает 935 мг/л. Воды характеризуются как сульфатно-гидроксильные кальциевые. В дальнейшем, в результате реакции водной среды с атмосферным воздухом, образуется вторичный кальцит, осаждающийся в золошлаковой толще и на дне водоемов. В процессе осаждения кальцита происходит захват взвешенных частиц, и вода очищается до прозрачности, но при этом возрастают относительные концентрации сульфатов, кальция и натрия, появляются гидрокарбонаты и магний (при дальнейшем общем снижении минерализации). После осветления вода поступает в отстойник, где возрастает доля гидрокарбонатной составляющей, а также возрастают концентрации магния и аммония.

При изучении воздействия на природную среду при сжигании канско-ачинских углей были получены данные о том, что зола Красноярских ТЭЦ из бородинского и березовского углей имеет повышенные содержания ванадия и хрома.

В процессе эксплуатации золоотвала в бассейне осветленной воды происходит накопление микрокомпонентов, что приводит к росту их концентраций. При этом превышение ПДК происходит по бария в 2,3 раза, по литию – в 1,15 раза, по марганцу – в 1,5 раза, по стронцию в 2,3 раза, по титану – в 4 раза.

Из выше сказанного следует, что при условии взаимодействия сбрасываемых и осветленных вод с подземными и поверхностными водами возможно загрязнение их барием, литием, марганцем, стронцием, титаном и повышение значения рН.

В районе золоотвала имеет распространение современный аллювиальный водоносный горизонт. Современный аллювиальный горизонт развит в пойменных и русловых отложениях р. Енисей. Мощность отложений колеблется от 5 до 17 м. Воды грунтовые, не имеющие напора. Глубина залегания подземных вод изменяется от 1,4 до 2,87 м. Водовмещающими являются гравийно-галечниковые отложения с песчаным заполнителем. Подземные воды, преимущественно, пресные, с минерализацией 148 – 204 мг/дм³ в аллювиальных отложениях р. Енисей. В солевом составе преобладают гидрокарбонаты и катионы кальция или магния. Значения рН колеблются от 7,4 до 8,3, что характеризует воды как щелочные. Жесткость воды в пойменных отложениях р. Енисей изменяется от 1,6 до 1,94 мг/дм³. В настоящее время не только поверхностные, но и подземные воды четвертичных

отложений подвержены значительному воздействию из различных гидротехнических сооружений, расположенных выше по потоку подземных вод.

Средние концентрации ряда компонентов превышают их фоновые значения (рН, железо общее, медь, перманганатная окисляемость, барий, титан и никель).

В скважинах, расположенных выше по потоку от золоотвала, отмечено повышенное содержание относительно фона: марганца, рН, иона аммония, бария, никеля, титана, перманганатной окисляемости, что говорит о возможности поступления этих элементов в подземные воды до возможного влияния золоотвала. Очевидно, что в результате проницаемости противофильтрационного экрана имеет место поступление фильтрационных утечек от промбассейнов (шламонакопителей ОАО "Красноярский алюминиевый завод", золоотвала котельной ОАО "Красноярский металлургический завод", иловых полей левобережных очистных сооружений городского «Водоканала» в подземные воды). С этим же фактором связывается и повышенное содержание в р. Черемушка: рН, иона аммония, железа, никеля, титана, фенолов, нефтепродуктов (точка отбора выше золоотвала №1), что еще раз подтверждает поступление этих элементов, как в поверхностные воды реки Черемушка, так и в подземные воды до возможного влияния золоотвала.

Наиболее значимое загрязнение вод р. Черемушка вызвали: марганец, железо и нефтепродукты. Концентрации бария, хлоридов и сульфатов не превышают ПДК.

Концентрации подавляющего большинства нормируемых элементов в режимных скважинах экологического мониторинга не превышают ПДК и имеют значительно меньшие концентрации, чем выше по потоку (табл. 1).

Таким образом, внедрение зольных вод приводит к резкому снижению концентраций большинства элементов. Но, вместе с тем для некоторых элементов характерен рост концентраций, при этом рост не создает экологической опасности, так как концентрации этих компонентов не превышают ПДК.

По утвержденным РАО «ЕЭС России» рекомендациям по контролю за состоянием грунтовых вод в районе размещения золоотвалов ТЭС в качестве общих гидрохимических показателей в обязательном порядке необходимо определять те показатели, значения которых могут изменяться под воздействием фильтрационного потока, идущего из золоотвала. Это позволило бы рассмотреть вопрос взаимодействия фильтрационного потока и подземных вод. Такими показателями являются общие характеристики воды – рН и общая минерализация (сухой остаток), ХПК, а также показатели, общие для всех природных вод и воды золоотвалов: общая жесткость, кальций-, сульфат-, хлорид-, карбонат- и гидрокарбонат-ионы. Так же важным можно считать бактериальный состав подземных вод, учитывая наличие выше по потоку коммунальных очистных сооружений.

К обязательному определению подлежат также следующие компоненты: алюминий, ванадий, марганец, мышьяк, селен, фтор, хром.

Таблица 1. Сопоставление фоновых концентраций нормируемых компонентов подземных вод до золоотвала и после него

Показатели	ПДК хоз- питьево е	Показател ь вредности	Класс опаснос ти	Фоновое содержание до золоотвала	Фоновое содержание после золоотвала	Коэффициент концентраци и (гр. 6:гр.7)
1	2	3	4	5	6	7
pH	6 - 9	-	-	7.96	8.6	1.08
Хлориды	350	-	-	119.2	48.4	0.41
Сульфаты	500	Орг	4	188.1	78.2	0.42
Гидрокарбонаты	-	-	-	661.3	152.5	0.23
Нитраты	45	Орг	3	57.2	0.1	0.002
Нитриты	3	Орг	2	42.8	0.01	0.0002
Натрий (+калий)	200	С-т	2	53.5	41.4	0.77
Магний	-	-	-	76.5	6.9	0.09
Кальций	-	-	-	117.9	33.5	0.28
Аммоний	2			17.9	0.9	0.05
Fe _{общ}	0,3	Орг	3	1.91	1.1	0.58
СО ₂ св	-	-	-	26.4	16.4	0.62
Окисляемость перманганатная	5	-	-	20.5	0.8	0.04
Сухой остаток	1000	-	-	1274	246.4	0.19
Жесткость общая	7	-	-	12.2	2.7	0.22
Медь	1	Орг	3	0.015	0.022	1.47
Цинк	1	Орг	3	0.022	0.017	0.77
Свинец	0,03	С-т	2	0.004	0.007	1.75
Алюминий	0,5	С-т	2	0.09	0.14	1.56
Хром общий	0,3			0.03	0.132	4.40
Фенолы	0,001	Орг	4	0.15	0.161	1.07
Ba	0,1	С-т	2	0.13	0.031	0.24
Ti	0,1	С-т	2	0.04	0.066	1.65
Ni	0,1	С-т	3	0.05	0.023	0.46
Марганец	0,1	Орг	3	0.7	0.005	0.01
Фтор	1,5	С-т	2	5.4	0.152	0.03
Нефтепродукты	0,1	-	-	0.099	0.094	0.95

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по контролю за режимом подземных вод на строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанциях. РД 153-34.1-21.325-98. – Утверждены Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО «ЕЭС России» 30.06.98. – М.: ОРГРЭС, 1999 – 35 с.

© Г.В. Загрянная, Т.П. Иванова, 2005

АТЛАС ПО АТМОСФЕРНЫМ АЭРОЗОЛЯМ СИБИРИ КАК ОСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА СИБИРСКОГО РЕГИОНА¹

В течение последних 15 лет специалисты институтов СО РАН: ИХКиГ, ИНХ, ЛИН, ИВЭП, Новосибирского, Кемеровского, Красноярского и Томского научных центров проводили регулярные измерения характеристик атмосферы. Мониторинг проводился на территории Западной и Восточной Сибири, Алтайского и Красноярского краев и Арктического бассейна России. К настоящему времени накоплена обширная информация о:

- Массовой концентрации и химическом составе атмосферных аэрозолей; спектре размеров аэрозолей; аэрозольном светорассеянии;
- Концентрации ядер конденсации ($r \leq 0.1$ мкм); спектре размеров аэрозольных частиц ($0.1 \leq r \leq 10$ мкм).

Эти данные существенно расширили и во многом изменили существующие представления о техногенном влиянии индустриальных центров на окружающую среду региона. Проведение комплексного газо-аэрологического мониторинга и сегодня является актуальной задачей. В последние десятилетия бурно развиваются гетерогенная физика и химия атмосферы. Эти исследования тесно связаны с решением проблем:

- Природы фотохимического смога, обусловленного эмиссией химически активных газовых примесей от естественных и антропогенных источников;
- Газо-аэрозольных выбросов при лесных пожарах и от крупных промышленных центров;
- Природы почвенно-эрозионных процессов;
- Процессов переносов примесей атмосферными течениями на региональном и глобальном уровнях с учетом их химической трансформации и взаимодействия с разнообразной подстилающей поверхностью;
- Влияния газо-аэрозольных примесей на качество окружающей среды;
- Роли различных биохимических циклов в биосфере;
- Оценки уровней загрязнения атмосферы, гидросферы, почвы и растительности;
- Влияния загрязнения на разнообразные атмосферные процессы;
- Последствий изменения климата локального, регионального и глобального масштабов;
- Влияния атмосферных аэрозолей на здоровье человека и животных.

Успешное решение всего комплекса проблем во многом определяется современным развитием системы комплексного мониторинга, который подразумевает пространственно-временные сопряженные наблюдения наземного и аэрокосмического базирования. Очевидно, что этот громадный

¹ Исследования поддержаны интеграционным проектом СО РАН № 169.

объем информации невозможно эффективно и рационально использовать без развития современных информационных систем.

В то же время для проведения долговременного комплексного мониторинга достаточно больших территорий и обеспечения работы с полученными данными групп ученых, работающих в различных организациях, необходимо создание специализированных информационных систем, позволяющих обеспечить возможность долговременного хранения данных и максимально упростить и стандартизировать систему доступа и работы с ними. Подобная система должна обеспечивать согласованную выборку и обработку данных, полученных из различных источников. Система хранения и доступа к данным должна обеспечивать возможность работы с данными как локальных, так и удаленных пользователей. В использовании результатов газо-аэрологического мониторинга заинтересованы также специалисты, работающие в области экологии и организации системы мониторинга окружающей среды.

Характеристики атмосферных аэрозолей

Свойства АА определяются спектром размеров, концентрацией, химическим составом и структурой частиц. Диапазон размеров АА охватывает 5 порядков величины. Концентраций - более 10 порядков. Чрезвычайно сложен их химический состав. Огромна пространственно-временная изменчивость характеристик АА.

Атмосферный аэрозоль (АА) - многокомпонентная система различного химического, фазового и дисперсного состава. Характеристики АА изменяются во времени и пространстве в пределах многих порядков. Динамика изменения сильно зависит от разнообразия почвенно-климатических зон. Для определения закономерностей пространственно-временной изменчивости характеристик атмосферных аэрозолей в различных почвенно-климатических регионах Сибири и Арктического бассейна России организована система комплексного мониторинга [3-5]. Наземные пункты наблюдений в каждой почвенно-климатической зоне располагаются на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки: слабой (фоновой), умеренной и сильной. Организована система отбора проб аэрозолей в различные сезоны года (зима, весна, лето, осень) с разделением на различные размерные фракции, в которых измеряется химический состав (элементный, ионный, углеродный).

Элементный состав аэрозоля включает в себя отдельные химические элементы, такие как, например, Са, Вг, К и т.д. (в настоящее время имеющиеся методики и аппаратура позволяют определить до 30 элементов). В ионном составе определяют катионы (NH_4^+ , K^+ , H^+ , Na^+) и анионы (HCO_3^- , Cl^- , F^- , NO_3^-). Углеродный состав характеризуется содержанием органического и неорганического углерода. По общей массовой концентрации аэрозоля рассчитываются и другие характеристики: относительные концентрации различных компонент и их массовые доли. Определение различных характеристик атмосферных аэрозолей и их пространственно-временной изменчивости необходимо для выяснения закономерностей, описывающих различные физические и химические атмосферные процессы. Известно, что атмосферные аэрозоли определяют оптические свойства атмосферы, процессы

тумано- и облакообразования, осадки. Они оказывают существенное влияние на процессы тепло- и массообмена в атмосфере, климат и качество окружающей среды [6, 7]. Кроме наземных наблюдений, в настоящее время совместно с Институтом космических исследований РАН (г. Москва) начались работы по использованию спутниковой информации. Исследования в Арктическом бассейне России проводятся совместно с Институтом океанологии РАН (г. Москва) [8, 9]. Использование цифровой стереофотограмметрии и ГИС-технологий для исследования атмосферных аэрозолей проводится совместно с Сибирской государственной геодезической академией (www.kinetics.nsc.ru/lite/index.htm).

На сегодняшний день существует ряд информационных систем, предназначенных для решения различных задач из области наук об окружающей среде и экологии: HYSPLIT (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) – обширная база данных наблюдений, позволяющая определить перенос воздушных масс за определенный период времени; GISS (http://www.giss.nasa.gov/data/rsp_air/) комбинирует и сравнивает результаты набора данных космических наблюдений с глобальными моделями атмосферы, земной поверхности и океанических процессов; PANGAEA (www.pangea.de) – библиотека данных и публикаций в области геофизики; мультимедийный информационный ресурс, открывающий интерактивный доступ к собранной информации по оценке влияния атмосферных примесей на окружающую среду (<http://www.ess.co.at/AIR-EIA>). Аналогичным примером такой системы можно назвать научный портал для атмосферных наук – ATMOS (<http://atmos.iao.ru>), который представляет собой интегрированный набор множества распределенных, но координируемых предметных сайтов, содержащих типовую мультимедийную информацию с исследовательскими базами данных, моделями и аналитическим инструментарием для прямого использования и визуализации. Перед проектом «Аэрозоли Сибири» поставлен особый круг задач, не решенный вышеперечисленными системами. Это послужило основанием для создания новой информационно-вычислительной системы «Атмосферные аэрозоли Сибири».

Науки об окружающей среде в значительной степени используют огромные массивы данных, и одна из ключевых задач информатизации этих наук состоит в организации коллективной работы с архивами данных. С развитием Интернет - технологий появилась возможность по-новому организовывать хранилища данных и доступ к ним [1-2].

Информационно-вычислительная система

ИВТ совместно с ИХКиГ СО РАН создал информационную модель и построил структуру метаданных на основе обобщенного подхода для формирования и заполнения файлов входных данных, включая их унификацию и связи для электронного атласа «Атмосферные аэрозоли Сибири». Информационно-вычислительная система *Атлас «Атмосферные аэрозоли Сибири»* доступна по адресу: <http://web.ict.nsc.ru/aerosol/>. Выделим основные функциональные характеристики системы:

1. Хранилище предусматривает все аспекты управления данными: добавление / редактирование, авторизация пользователей и разграничение доступа к различным информационным структурам, возможность гибкого изменения информационной модели хранилища; реализован сервис импортирования данных.

2. Система предусматривает отображение хранимых данных и получаемых результатов, включая табличное и графическое представление (рис. 1).

3. Реализован подсчет наиболее значимых характеристик покомпонентного химического состава аэрозолей, необходимых для многоцелевого анализа и обработки данных.

4. Реализован алгоритм, приводящий следующие характеристики к виду стандартного распределения по размерам: счетную полную, массовую полную, субмикронную концентрации аэрозоля и концентрацию крупных частиц. По данным характеристикам восстанавливается функция – спектр размеров, имеющая нормальное распределение (рис. 2).

5. Web- интерфейс Атласа полностью поддерживаются двух языка: русский и английский

В системе имеет место разграничение доступа пользователей. Среди них можно выделить:

1. Обычный пользователь- посетитель сайта системы, имеет самый ограниченный набор прав доступа;

2. Администратор - автор, создатель коллекций; имеет право на управление собственными коллекциями и теми коллекциями, к которым он имеет доступ;

3. Суперпользователь - может регистрировать в системе других пользователей, выполнять любые действия с любыми коллекциями, в том числе назначать права доступа.

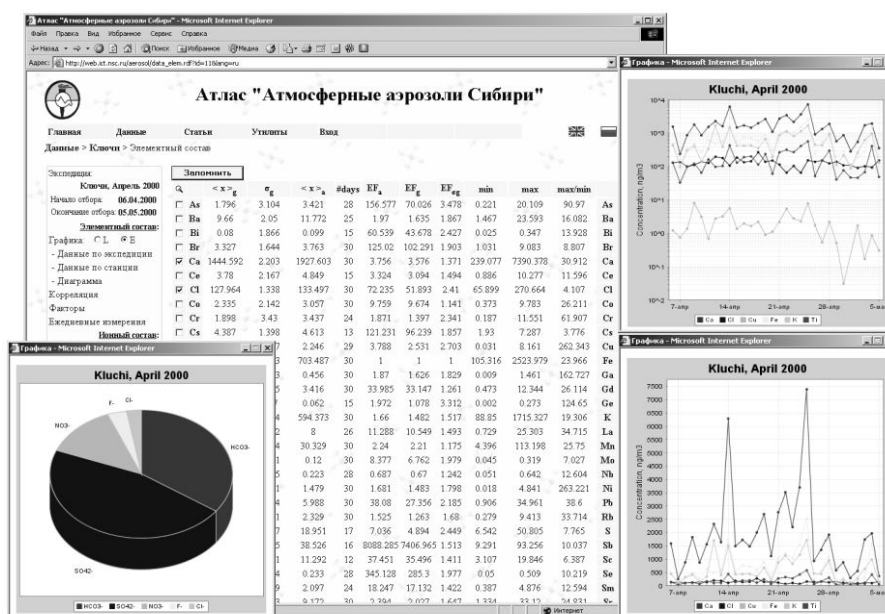


Рис. 1

На рис. 1 приведен фрагмент представления экспериментальных данных и обработки этих результатов в описанной выше БД «Атлас “Атмосферные аэрозоли Сибири”».

В работе описаны принципы создания информационных моделей для разработки информационных систем в области естествознания. Разработаны и реализованы подходы к интеграции разнородных информационных массивов из выбранной предметной области. Работа направлена на обеспечение максимально полной формализации и связывания информации о различных параметрах атмосферных аэрозолях, что актуально для исследований в экологии. Разработаны структуры данных, механизмы поддержки объектов главного словаря системы; поддержка нестандартных типов данных, механизмов создания иерархических коллекций, создан удобный для пользователей интерфейс. Разработанная система предоставляет пользователю способ формировать электронные коллекции аэрозолей, создавать и оперировать объектами главного словаря системы, осуществлять контроль доступа к информации через разнообразные режимы доступа к данным, обеспечивая доступ через Интернет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куценогий К.П., Куценогий П.К., Молородов Ю.И., Федотов А.М. Разработка структуры метаданных по атмосферным аэрозолям на основе информационной модели. Вычислительные технологии.-2004, т.9 Ч. 2, с. 25 - 33
2. Куценогий К.П., Молородов Ю.И. Методология разработки распределённой информационной среды по атмосферным аэрозолям Сибири. Тезисы докладов XI рабочей группы «Аэрозоли Сибири». Томск, 2004, с. 8.
3. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Мониторинг химического и дисперсного состава атмосферных аэрозолей в Сибири. Химия в интересах устойчивого развития. 1997, т. 5, с. 457 - 471.
4. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Аэрозоли Сибири. Итоги семилетних исследований. Сибирский экологический журнал. 2001, т. VII, N1, с. 11 - 20.
5. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Комплексный мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири. В кн. Ж Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Том XIX. 2003, с. 256 - 293.
6. Scinfeld J.H., Pandis S.H. Atmospheric chemistry and physics. From Air Pollution to Climate Change. 1998, John Wiley&Sons Inc., 1326 p.
7. Аэрозоли и климат. 1991, под. ред. К.Я. Кондратьева, Л., Гидрометеиздат. 541 с.
8. Koutzenogii K.P., Shevchenko V.P., Lisitzin A.P. et. al. The chemical composition of atmospheric aerosols at the Kartesh biostation (the White Sea) / Seventh Workshop on Land Ocean Interactions in the Russian Arctic, LOIRA project / 2004, Moscow, p. 65 - 66.
9. Koutzenogii P.K., Bizin M.A., Shevchenko V.P., Lisitzin A.P. Identification of the sources of submicron fraction of atmospheric aerosol by temporal variability of its mass concentration. Ibid., p. 63 - 64.

© Ю.И. Молородов, К.П. Куценогий, 2005

АНТРОПОГЕННАЯ ДИНАМИКА СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ УРАЛА (НА ПРИМЕРЕ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮГА ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

При интенсивном выпасе в плане перестройки структуры сообществ наиболее рельефно выделяются два процесса: упрощение ярусной структуры и угнетение возобновления древостоя и травостоя. В природе они перекрываются и тесно связаны между собой. Угнетение возобновления у травянистых видов обычно связано с уничтожением их генеративных органов; для древостоев - с уничтожением маловозрастных экземпляров. Одновременно упрощаются горизонтальная и вертикальная структуры. В целом же наблюдается снижение биологической продуктивности фитоценоза.

Для определения степени трансформированности степных экосистем была использована система баллов по девяти показателям.

Таблица 1. Изменение параметров кормовых угодий при их трансформации на разных стадиях пастбищной дигрессии

Степи						
	Исходные	Трансформированные				
Параметры	Зональное сообщество	0 негра д.	I слабо деградир	II ср. деград.	III сильно деград.	IV сбой
Общее проективное покрытие	75-95	75-90	70-80	60-70	40-50	20-30
Средняя высота	30-40	35-45	20-25	20-25	10-15	5-10
Горизонтальная структура % (распределение)	однородная	однородная	пятнистая 15-20%	пятнистая 20-25%	25-40% почвы оголено	40-60% почвы оголено
Видовая насыщенность на 100 кв.м.	40-45	35-45	20-30	15-20	10-12	5-8
Запас надз. массы ц/га	7-12	5-7	2-6	2-6	2-3	>1
Урожайность ц/га сухой массы	5-10	3-5	1-3	1-3	0,5-1	>0,5
Культурно-техническое состояние пастбищ, сенокосов в баллах	0	0	1-2	2-3	3-4	5
Пастбищная нагрузка ус.гол./га	0,5 - 1	2-3	3-4	5-7	6-10	12-20

СТЕПИ. Зональными почвами на гривах и относительно хорошо дренированных приподнятых участках равнины являются южные чернозёмы суглинистые и супесчаные. На склонах грив распространены солонцеватые

почвы, глубоко- и среднестолбчатые солонцы в комплексе с высокими, а в понижениях - солоди. В межгривных понижениях преобладают комплексы солончаковых почв с солонцами (корковыми и высокими) и солончаками, болотные почвы и заболоченные солоди. В озерных котловинах, в пойме и на низких террасах развиты почвы галогидроморфного ряда: болотные, лугово-болотные солончаковые, луговые и поровые солончаки; на высоких террасах средне- и высокостолбчатые лугово-степные солонцы. Для солонцов межгривных понижений характерно высокое хлоридно-содовое засоление, для солончаков - преимущественно сульфатно-хлоридное, хлоридно-сульфатное.

В растительном покрове на южных чернозёмах доминировали богато-разнотравно-ковыльные, разнотравно-типчаково-ковыльные степи, в настоящее время полностью распаханые. Последние крупные участки таких степей распашаны в 50-60-е годы. Зональную принадлежность распаханых степей можно восстановить лишь по узким полоскам степной растительности между пашней и окраинами колков.

Солонцеватые разнотравно-ковыльно-типчаковые степи, приуроченные к склонам грив, повышенным равнинам и высоким террасам, так же на больших площадях распаханые, а сохранившиеся участки вблизи поселков сильно изменены выпасом и представляют все стадии антропогенной нарушенности - различные пастбищные модификации этих степей.

В западинах, по склонам грив и террасам, в ложбинах древнего стока развиты колючие березняки с разнотравно-злаковым покровом, а в более глубоких понижениях - с густым осиновым и ивовым подлеском в центре. По межгривным понижениям и древним ложбинам стока распространена луговая и галофильная растительность разной экологии и динамики, образующая сложный комплекс сообществ. Наибольшие площади в этом комплексе принадлежат сообществам с однолетними солянками (сведа, солерос, лебеда) и галофитным злакам: шелковица, ячмень. К сырým блюдцеобразным западинам, в большом числе встречающимся в этих низинах, приурочена луговая и лугово-болотная растительность, представленная пырейно-ситниковыми, разнотравно-канареечниковыми и пырейными лугами по окраине и камышово-осоковыми болотами в центре. В более мелких западинах развиваются остепненные луга (чаще мятликовые), с зарослями солодки. Для растительного покрова крупных озерных котловин характерно поясное или мозаично-поясное расположение фитоценозов болотно-солончаковых и болотистых лугов, образующих экологические депрессии. Прибрежная полоса и пойма с неустойчивым режимом обводнения заняты болотистыми лугами с доминированием гигрофильных и галогигро-фильных злаков - тростника, тростянки, лисохвоста. На низких террасах, заливаемых на короткий период весенними паводками, развиты болотно-солончаковые луга с доминированием ситника Жерара и большим или меньшим участием ячменя короткоостистого и бескильницы расставленной. Наиболее засоленные почвы и соответствующие им сообщества галофитов занимают вторую террасу, где грунтовые воды носят застойный характер. Распространенные здесь солончаковые луга представлены бескильницевыми и волоснецовыми сообществами, а на выбитых участках с

выцветами солей — зарослями однолетних солянок. К высоким террасам и их склонам приурочены остепненные солонцеватые луга и степи: полынно-волоснецовые, типчаково-пырейные, полынно-типчаковые. Растительность озерных котловин интенсивно используется под постоянный выпас, что привело к деградации большей части луговых сообществ.

В районе исследований выпас производится без соблюдения системы использования пастбищ и регуляции численности скота на них. В результате на большей части степных пастбищ состояние растительного покрова находится на II и III стадиях дигрессии. Пасквальная дигрессия разнотравно-типчаково-тырсовых солонцеватых степей, вызванная постоянным выпасом, несколько отличается от типичной, выявленной для ковыльных степей европейской части, в виду галофильности уральских степей. Приведем особенности различных ее стадий.

Для зональных степных сообществ и их эдафических вариантов характерно доминирование овсецов и ковылей. Первая стадия деградации степных сообществ выразилась прежде всего в уменьшении роли ковылей - перистый ковыль сократил свое обилие до единичных экземпляров, а ковыль Лессинга выпал из состава травостоя почти полностью. Большую встречаемость сохранил ковыль тырса, распространенный с разным обилием.

Доминирующими видами в сообществах становятся мелкодерновинные злаки - типчак и тонконог гребенчатый. Разнотравье представлено большим количеством (40-50) видов растений разной экологии (ксеромезофиты, эвроксерофиты, галоксерофиты). Участие бобовых растений небольшое (8-10 видов) и распространены они единичными экземплярами. Сообщества I стадии деградации - разнотравно-ковыльно-типчаковые степи - наиболее близки к зональным и формировались в условиях кочевого скотоводства при умеренном нерегулируемом выпасе. Участки таких степей имеют малую площадь и расположены по окраинам пашен. Выпас на них производится чаще всего ранней весной (до посева зерновых) и осенью после уборки. Урожайность травяного покрова 8-12 ц/га.

При дальнейшем возрастании пастбищной нагрузки - сильном постоянном выпасе (II стадия) в степных сообществах с господством тырсы и типчака отмечается разрастание полукустарничковых полыней при доминирующей роли типчака. Выпадают из состава сообществ корневищные злаки, сокращают обилие или полностью исчезают мезофильные и ксеромезофильные виды разнотравья и бобовых. Флористический состав снижается до 35-45 видов, из которых 15-20 видов - синантропные растения, большая часть из которых с галофильной экологией. Появление их связано с возрастанием засоленности почвы, вызванным ее уплотнением при постоянной пастьбе. С увеличением засоления травяной покров изреживается, проективное покрытие снижается до 50-60%. Упрощается вертикальная структура травостоя - высота основного яруса, образованного типчаком, снижается до 25-35 см; урожайность таких участков - 5-7 ц/га. Полынно-типчаковые сообщества этой стадии являются основным компонентом солонцеватой степи.

На III стадии деградации постоянный усиленный выпас способствует дальнейшему уплотнению почвы и увеличению засоления. Формируются флористически обедненные типчаково-полынные сообщества с доминированием одного или двух синантропных видов. Видовой состав сообществ снижается до 15-25 видов. Разреженный и низкий (15-25 см) травяной покров сильно выбит, в местах сбоя разрастаются однолетники - лебеда татарская или рогач песчаный. Резко снижается урожайность (2-3 ц/га), проективное покрытие растениями уменьшается до 30-40%. На этой стадии деградации находится большинство степных пастбищ, чему также способствуют прошедшие засушливые годы. В последней стадии пастбищной деградации - при чрезмерном выпасе, что наблюдается в окрестностях населенных пунктов, на окраине кошар, в местах водопоя, степной травостой сменяется господством одно- или двулетников с небольшим участием плохо поедаемых многолетников. Для этой стадии наиболее характерны выгоны с господством летне-осенних однолетников - лебеды, спорыша и рогача.

Разнотравно-люцерново ковыльные степи под влиянием постоянного выпаса также преобразуются в мелкодерновинные степные сообщества, где уже полностью доминируют степные мелкодерновинные злаки. Травостой еще остается довольно густым и равномерным. Кроме злаков основу его составляют степные осоки, из бобовых - *люцерна*, а из разнотравья - *полыни*. При усиленной нагрузке пятнами разрастаются. Падают показатели видовой насыщенности и продуктивности.

Чрезмерная в течение длительного периода нагрузка ведет к полной деградации этих сообществ. Злаки изреживаются, местами выпадают полностью, пятнами разрастается низкотравье, а на наиболее сбитых участках его место занимают уже сорные виды. Травостой разрежен, идет дальнейшее снижение видовой насыщенности и урожайности.

В связи с деградацией травостоя на склонах, особенно в сухие годы, наблюдается ветровая эрозия. Нарушается структура почвы: верхние горизонты распыляются, нижние, наоборот, - сильно уплотняются. Растения в сообществах угнетены, в их популяциях преобладают сенильные (с отмершей серединой) и ювенильные особи.

Преимущественно на выровненных участках, мелкодерновинные, разнотравно-злаковые степи, под влиянием выпаса могут превращаться в осоково-полынные. Таким образом, большая часть степных сообществ находится на II и III стадиях деградации. Чрезмерная нагрузка на травостой при отсутствии ухода и пастбищеоборота приводит к необратимому нарушению структуры сообществ, снижению видовой насыщенности, вызывает прогрессирующее ухудшение видового состава, уменьшение фитомассы, разрастание сорных видов. На последней стадии деградации происходит выедание и вытаптывание трав до основания, травостой теряет способность восстанавливаться и превращается в сбой.

В заключении можно сделать следующие выводы:

Основной целью проведенных геоботанических исследований являлась оценка степени деградации кормовых угодий южных степных районов.

Наши работы показали, что в южных районах Челябинской области изменения, трансформации растительного покрова на сохранившихся участках степи проходят по схеме, характерной для других степных районов.

На Южном Урале за последние 20 лет трансформация растительности шла по пути изменения количества видов травяной растительности, уменьшения урожайности сельхозугодий. Эта трансформация или различной степени деградация растительного покрова в первую очередь вызвана антропогенной нагрузкой на степь - чрезмерным, совершенно не регулируемым выпасом крупного рогатого скота и (особенно!) овец, чрезмерной распашкой целинных земель.

Вследствие экономических изменений последних 3-4 лет, нагрузка на луга и пастбищные угодья значительно уменьшилась, что положительно сказалось на их состоянии, однако даже снижение антропогенной нагрузки позволило зафиксировать состояние, при котором до 58% степных сообществ можно отнести к III и IV стадиям дигрессии.

© Н.П. Миронычева-Токарева, 2005

УДК 528.9

В.Л. Истомин

ИГиЛ СО РАН, Новосибирск

В.К. Хе

НГУ, Новосибирск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ СЕДИМЕНТАЦИИ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЁРЕН И ИХ АГЛОМЕРАТОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Опыление - характерное явление в мире растений, позволяющее обмениваться генетической информацией и интегрировать её в семенном потомстве. Различают два типа опыления – самоопыление и перекрёстное. Последнее происходит в том случае, когда перенос пыльцы осуществляется между цветками разных особей. Существуют следующие способы перекрёстного опыления: с помощью насекомых (энтомофилия), птиц (орнитофилия), летучих мышей (хиронтофилия), агентов неживой природы (анемофилия) и воды [1]. Дальность распространения пыльцы анемофильных растений зависит во многом от аэродинамических характеристик пыльцевых зёрен (ПЗ).

Помимо своего главного предназначения – размножения растений, пыльца, будучи одной из наиболее массовых и широко распространённых компонент биоаэрозоля, содержит аллергены и вызывает насморк, конъюнктивит и другие проявления поллинозов, провоцирует приступы астмы. Рост числа аллергических заболеваний во второй половине двадцатого века обусловил всплеск интереса к атмосферному переносу пыльцы [2].

В природе пыльца встречается как в виде индивидуальных ПЗ, так и в виде агломератов, состоящих из нескольких ПЗ. Скорость седиментации отдельных ПЗ и их агломератов является одной из главных аэродинамических характеристик, определяющих пространственно-временное изменение

концентрации пыльцы в биосфере и эффективность её оседания на опыляемые растения [3-5].

Сведения о скорости седиментации крайне отрывочны. Имеются некоторые данные о седиментации индивидуальных ПЗ [3]. В то же время данные о скорости седиментации агломератов практически отсутствуют. Теоретические расчёты скорости седиментации пока затруднительны. Это связано со сложной формой зёрен и неравномерном распределении массы по объёму в ПЗ. Для мелких не взаимодействующих между собой сферических частиц скорость седиментации определяется по формуле Стокса. Для частиц, близких к сферической форме, в закон Стокса вводятся поправочные коэффициенты [6]. Скорость седиментации спор и пыльцы, как правило, определяется экспериментально.

В настоящем докладе представлены результаты экспериментальных исследований скоростей седиментации ПЗ и их агломератов западносибирских растений.

Нами использовалась установка, разработанная в лаборатории ИГиЛ СО РАН, схематично изображённая на рис. 1.

Экспериментальная установка состоит из двух основных блоков: I – дозирующая система и II – седиментометр.

Дозирующая система является системой импульсного распыления и в свою очередь состоит из ресивера 1, электроконтактного манометра 2 и электроклапана 3, позволяющие создавать газовый импульс необходимых параметров. Дозатор 4 служит для загрузки определённой порции мелкодисперсного вещества.

Седиментометр представляет собой цилиндр 5, разделённый заслонкой 6 на две части. Верхняя представляется приёмником распылённого вещества, поступающего из системы I через сопло 7. с другой стороны она оканчивается фильтродержателем 8 с установленными на металлической сетке фильтрами типа АФА-ХА-18, для выхода воздуха. Кроме того, эта часть содержит вспомогательную заслонку 9.

Нижняя часть цилиндра оканчивается устройством 10 (рис. 2), содержащее стекло для сбора распылённого вещества. Устройство состоит из неподвижной щелевой диафрагмы 1 с окном 2, имеющим вид сектора. Ниже находится предметное сменное стекло на вращающемся ложе 4, которое зафиксировано стопором 5 относительно храповика 6. Ложе с предметным стеклом может вращаться с переменной скоростью, и имеет от одного до 15 фиксированных положений. Вращение стекла на заданный угол осуществляется храповым устройством 6.

Порция пыльцы распыляется в верхнюю часть установки при закрытой заслонке 6. В приёмной части седиментометра устанавливалась щелевая диафрагма. В опытах смена диафрагмы осуществлялась вручную через каждый фиксированный промежуток времени t_{ϕ} секунд, начиная с первой по четырнадцатую. Для каждого вида растений подбирался свой t_{ϕ} . Последняя

диафрагма экспонировалась в течение 1 минуты. Заслонка 6 открывается через 10 с после распыления пыли.

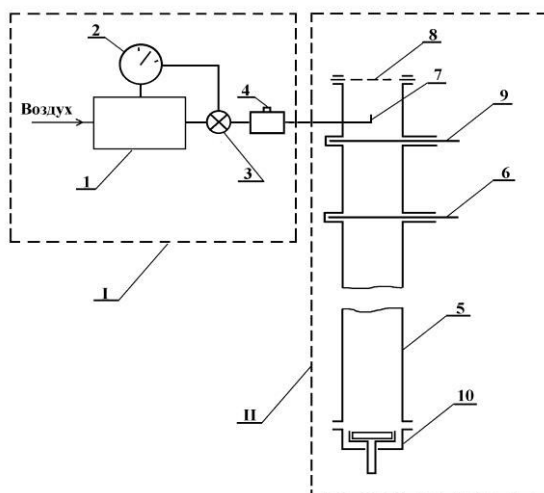


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

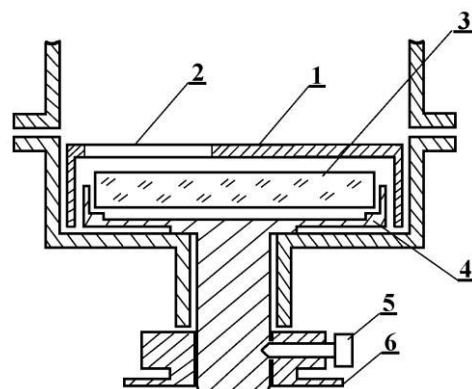


Рис.2. Схема храпового механизма

Затем для каждого сектора при 40–кратном увеличении просматривалось около 30 полей зрения для подсчёта количества, как одиночных пылевых зерен, так и агломератов. Если в секторе оседали частицы, то скорость их седиментации находится в пределах максимального и минимального возможных значений, то есть от V_i до V_{i+1} , где i - номер сектора. Исследуемый параметр рассчитывался по соотношению:

$$V_i = \frac{H}{t_i} \text{ см/с, } i = \text{от } 3 \text{ до } 14, \quad (1)$$

где

$$t_i = t_{\phi}(i-1) \text{ с,} \quad (2)$$

поскольку участок неравномерного движения значительно меньше длины седиментационного цилиндра. Здесь H – высота седиментационного цилиндра. Среднеарифметическое значение скорости седиментации, характеризующее частицы, оседающие в пределах выбранного сектора, рассчитывалась по формуле:

$$\bar{V}_i = \frac{V_i + V_{i+1}}{2} \quad (3)$$

Средняя скорость седиментации $\bar{V}_j$ агломерата, состоящего из j зёрен, рассчитывалась по среднегеометрической формуле:

$$\bar{V}_j = \exp \left(\frac{\sum_i n_{ij} * \ln(\bar{V}_{ij})}{\sum_i n_{ij}} \right) \quad (4)$$

где $\bar{V}_{ij}$ - среднее арифметическое значение скорости седиментации агломератов из j частиц, оседающих в пределах i -го сектора, n_{ij} - число агломератов из j частиц, осевших на i -ый сектор.

Нами проведены серии экспериментов по определению скоростей седиментации ПЗ и их агломератов содержащих до 6 частиц следующих растений: Двухкосточник тростниковый, Райграс высокий французский, Пырей ползучий, Пырей средний, Ежа сборная, Овсяница луговая, и до 4 частиц следующих растений: Кострец безостый, Житняк гребенчатый.

Результаты вычислений скоростей седиментации и среднеквадратичные отклонения представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Экспериментальные результаты определения скоростей седиментации пыльцевых зёрен и их агломератов

n/n	Пыльца растений	Средняя скорость $\bar{V}_j$, см/с					
		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6
1	Двухкосточник тростниковый	3,2	4,2	5,2	6,1	5,9	6,9
2	Райграс высокий французский	3,6	4,4	4,7	4,9	5,0	5,2
3	Пырей ползучий	4,4	5,5	6,4	8,1	8,6	10,0
4	Пырей средний	5,4	7,3	9,1	12,4	13,4	14,5
5	Ежа сборная	2,8	4,1	5,4	6,7	8,0	9,9
6	Овсяница луговая	3,0	4,1	4,6	5,0	5,3	5,4
7	Кострец безостый	4,2	5,3	6,0	6,6	-	-
8	Житняк гребенчатый	3,9	4,8	5,4	5,7	-	-

Таблица 2. Среднеквадратичные отклонения от средних значений скоростей седиментации

n/n	Пыльца растений	σ_g , см/с					
		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6
1	Двухкосточник тростниковый	1,42	1,35	1,34	1,34	1,31	1,35
2	Райграс высокий французский	1,21	1,16	1,12	1,10	1,06	1,06
3	Пырей ползучий	1,40	1,36	1,36	1,30	1,28	1,36
4	Пырей средний	1,48	1,51	1,44	1,37	1,33	1,19
5	Ежа сборная	1,39	1,40	1,38	1,38	1,39	1,31
6	Овсяница луговая	1,45	1,37	1,29	1,25	1,21	1,23
7	Кострец безостый	1,40	1,37	1,27	1,34	-	-
8	Житняк гребенчатый	1,33	1,26	1,26	1,23	-	-

Анализируя данные табл. 1 и 2, отмечается заметный разброс скоростей седиментации. Причём, с увеличением числа частиц в агломерате видна тенденция к его уменьшению. Наиболее ярко это заметно на примере Райграса высокого.

Скорость оседания агломерата возрастает с увеличением количества составляющих его частиц. В [7] было показано, что скорости седиментации агломератов в зависимости от числа частиц в агломерате хорошо

аппроксимируются степенной зависимостью, построенной методом наименьших квадратов. Для исследуемых нами растений полученные данные можно аппроксимировать эмпирическими зависимостями, предложенные в табл. 3.

Таблица 3. Эмпирические зависимости и коэффициенты корреляции

n/n	Пыльца растений	Эмпирическая зависимость $\bar{V}_j$, см/с	Коэффициент корреляции
1	Двухкосточник тростниковый	$3,2 * j^{0,414}$	0,991
2	Райграс высокий французский	$3,7 * j^{0,202}$	0,983
3	Пырей ползучий	$4,2 * j^{0,456}$	0,986
4	Пырей средний	$5,1 * j^{0,584}$	0,991
5	Ежа сборная	$2,7 * j^{0,687}$	0,993
6	Овсяница луговая	$3,1 * j^{0,326}$	0,992
7	Кострец безостый	$4,2 * j^{0,328}$	0,999
8	Житняк гребенчатый	$3,9 * j^{0,288}$	0,999

Таким образом, данные табл. 1 - 3 можно подытожить следующим выводом: полученные средние значения скоростей седиментации агломератов ПЗ в зависимости от числа частиц в агломерате аппроксимируются степенной зависимостью вида:

$$\bar{V}_j = a * j^k, \text{ для } 1 \leq j \leq 6, \quad (5)$$

где $\bar{V}_j$ - среднее значение скорости седиментации агломерата состоящего из j частиц, размерные коэффициенты a и показатель степени k находятся из экспериментальных данных для каждого вида растений.

В зависимости от вида растения r - коэффициент корреляции (5) принимает значения в диапазоне $0.983 \leq r \leq 0.999$, k принимает значения $0.202 \leq k \leq 0.687$, зафиксированный диапазон $\bar{V}_j$ от 2,8 см/с для единичного ПЗ и до 14,5 см/с для агломерата, состоящего из шести ПЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пономарев А.Н., Демьянова Е.И. Опыление. Жизнь растений. Т. 5. – М.: Просвещение, 1980. – С. 55 - 80.
2. Rantio-Lehtimäki A. // Aerobiology of Pollen and Pollen Antigens// Bioaerosols Handbook / Editors: Cox C.S., Wathes C.M. / Boca Raton, Florida, Lewis Publishers Inc, 1995, pp. 387 – 406.
3. Грегори Ф. Микробиология атмосферы. – М.: Мир, 1964. – 372 с.
4. Дингл А.Н., Гилл Дж. Ч., Вагнер В.Х., Хьюсон Е.В. Эмиссия, рассеяние и оседание пыльцы амброзии // Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. – М.: ИЛ, 1962. – С. 405-427.
5. Aylor D.E. The role of intermittent wind in the dispersal of fungal pathogens. // Ann. Rev. Phytopathol. – 1990. – Vol. 28. – P. 78 -92.
6. Хаппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. – М.: Мир, 1976. – 630 с.
7. Истомин В.Л., Куценогий К.П., Головкин В.В. Определение скорости седиментации пылевых зёрен берёзы, осины и их агломератов. // Теплофизика и аэромеханика – 2004, т. 11, № 4, С. 1 - 11.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НЕСФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Атмосферный аэрозоль - наиболее распространенный в природных условиях тип дисперсной системы, состоящей из частиц твердого или жидкого вещества, находящихся во взвешенном состоянии в атмосферном воздухе. Такие атмосферные явления, как дымки, туманы, различные типы облаков, дымы лесных пожаров и промышленных предприятий, пылевые бури, извержения вулканов, осадки в виде дождя и снега, в которых визуально обнаруживается присутствие частиц, дают представление о многообразии их форм и физико-химических свойствах.

Последние десятилетия характеризуются расширением всесторонних исследований свойств атмосферного аэрозоля. В определяющей степени этому способствует развитие и разработка новых методов и технических средств, которые позволили глубже исследовать природу аэрозоля и понять его важную роль практически во всех физико-химических процессах в атмосфере.

Движение аэрозолей в атмосфере имеет большое практическое значение с технической и гигиенической точки зрения, например в проблеме предупреждения загрязнения населенных пунктов промышленными аэрозолями. Но, несмотря на довольно большое число теоретических и экспериментальных работ, вопрос этот исследован еще далеко недостаточно, в основном вследствие большой сложности и изменчивости атмосферных течений, которые в настоящее время не поддаются адекватному теоретическому анализу. Поэтому экспериментальная проверка различных теорий чрезвычайно затруднительна [1].

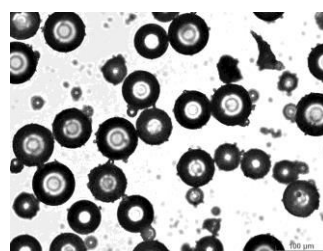
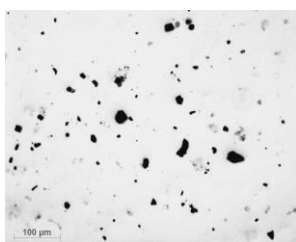
Распространение грубодисперсных ($d > 1 \mu\text{м}$) аэрозолей в атмосфере существенно зависит от скорости их оседания, которая существенным образом зависит от формы аэрозольных частиц.

Различие между аэрозолями с жидкой и твердой дисперсной фазой проявляется в том, что в первых частицы имеют правильную шарообразную форму. Твердые же частицы могут обладать самой разнообразной формой, поэтому возникают большие трудности при изучении характеристики дисперсности таких аэрозолей. Даже для частиц имеющих форму правильных многогранников, например, тетраэдров, вопрос о том, что считать их величиной, не решается однозначно. Еще большие трудности возникают при определении «размера» вытянутых частиц. Характеризовать же размер посредством двух или трех чисел слишком сложно. Необходимо пользоваться какой-нибудь усредненной величиной, в качестве которой чаще всего используют «эквивалентный» радиус. Эквивалентным радиусом частицы называют радиус шара, свойства которого совпадают со свойствами реальной частицы. Например, эквивалентный аэродинамический диаметр – это диаметр сферической частицы с плотностью г/см^3 [2].

Определение размеров частиц в трех измерениях под микроскопом в случае грубодисперсных аэрозолей возможно непосредственно путем наведения микроскопа на верхнюю и нижнюю поверхности частицы или посредством стереомикроскопического метода [1], но для частиц с размерами меньше 2-3 мкм эти методы неприменимы. Основным промышленный метод определения размера твердых частиц – ситовой анализ. «Ситовой» радиус, определяемый половиной ширины отверстий в ситах, для шарообразных частиц совпадает с эквивалентным радиусом и близок к нему в случае изометрических частиц. В общем, определение эквивалентных радиусов такими методами является весьма трудоемкой, а иногда и невыполнимой задачей, и на практике теперь производится очень редко. Применение современных технических средств во многом упрощает получение различных морфометрических характеристик подобных объектов. Так цифровые микроскопы позволяют получать качественные цифровые микроизображения и сразу же анализировать их, т.е. определять необходимые размеры частиц, при этом полученные результаты могут быть экспортированы в различные программные продукты для дальнейшей обработки.

Для обработки изображений разработана методика, реализуемая средствами ГИС Map Info [3]. Сущность, которой состоит в математическом преобразовании исходного цифрового изображения с последующим геометрическим анализом выделенных на нем объектов. В декартову систему координат цифровое изображение, представленное в пиксельной системе координат, переводится по изображению тест-объекта, с одновременным приведением к требуемому масштабу. После этого в интерактивном режиме с помощью курсора обводятся границы объектов и, при необходимости, их частей, тем самым фиксируются дискретные значения текущих координат составляющих их точек. Вычисление морфометрических характеристик изучаемых объектов (длин отрезков, периметров, площадей) производится с использованием стандартных функций Map Info. При последующей статистической обработке результатов вычисляются эквивалентные размеры по значениям площадей и периметров, а также параметры распределения спектра размеров периметров и площадей.

В процессе экспериментальных работ обрабатывались пробы частиц грубодисперсной фракции аэрозолей естественного и искусственного происхождения: частицы, образованные при пожаре, морской аэрозоль с Белого моря и частицы угольного порошка, отобранные на барнаульской ТЭЦ. Для тестирования методики были обработаны частицы плексигласа, которые имеют сферическую форму. Для получения изображений частиц нами использовался цифровой оптический микроскоп Axioscop 2 plus.



а

б

Рис. 1. Микроскопические изображения частиц: морской аэрозоль, отобранный на Белом море (а), частицы плексигласа (б)

На первом этапе, в соответствии с разработанной методикой, определялись площади и периметры каждой отобразившейся частицы, что иллюстрирует фрагмент работы программы, представленный на рис. 2.

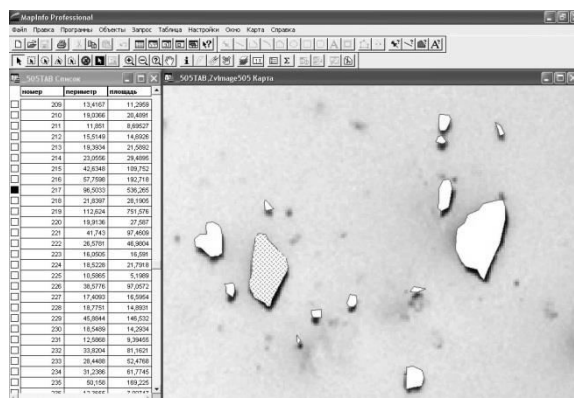


Рис. 2. Определение площадей и периметров частиц

На втором этапе вычислялись эквивалентные диаметры по формулам [1,4]:

$$d_{1экв} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \text{ и } d_{2экв} = \frac{P}{\pi}, \quad (1)$$

где $d_{1экв}$ – диаметр эквивалентной сферы, площадь которой равна площади измеряемой частицы неправильной формы; $d_{2экв}$ – диаметр эквивалентной сферы, периметр которой равен периметру той же частицы.

Все вычисления проводились в электронных таблицах Excel и выполнялись в следующей последовательности: полученные значения площадей, периметров и эквивалентных диаметров располагались по возрастанию, определялись минимальные и максимальные значения для этих характеристик, разбивались на 6 фракций в геометрической прогрессии:

$$q = \sqrt[6]{\frac{d_{iэкв}^{max}}{d_{iэкв}^{min}}}, \quad i=1,2, \quad (2)$$

где индекс 1 относится к эквивалентному размеру по площади; индекс 2 – по периметру; индексы max и min относятся к максимальным и минимальным эквивалентным диаметрам. Интервал разбиения (q) всего диапазона размеров (d_{min} , d_{max}) можно задавать произвольно. В табл. 1 приведены результаты такого разбиения для частиц неправильной формы, а в табл. 2 для сферических частиц.

Таблица 1

Площадь, мкм ²				Периметр, мкм		
1	2	3	4	5	6	7
i	S_i	n_i	$ni/\Sigma ni$	P_i	n_i	$ni/\Sigma ni$
1	27,14	1	0,05	18,73	1	0,05
2	47,27	5	0,25	24,67	4	0,2
3	82,32	1	0,3	32,51	3	0,35
4	143,36	8	0,7	42,83	7	0,7
5	249,66	3	0,85	56,43	3	0,85
6	434,78	2	0,95	74,35	2	0,95
7	757,18	1	1	97,95	1	1

Таблица 2

Площадь, мкм ²				Периметр, мкм		
1	2	3	4	5	6	7
i	S_i	n_i	$ni/\Sigma ni$	P_i	n_i	$ni/\Sigma ni$
1	1944,83	1	0,05	157,13	1	0,05
2	2328,3	3	0,15	171,88	2	0,1
3	2787,38	0	0,15	188,01	1	0,15
4	3336,97	1	0,2	205,66	1	0,2
5	3994,94	2	0,3	224,96	2	0,3
6	4782,63	6	0,6	246,07	6	0,6
7	5725,64	8	1	269,17	8	1

В табл. 1 и 2 в первом столбце указан номер размерной фракции для измеренных площадей (второй столбец) и периметров (пятый столбец). В столбцах 3 и 6 приведено число частиц (n_i), размер которых не превышает значения S_i и P_i ; в столбцах 4 и 7 приведены относительные доли (накопленная вероятность) значений S_i и P_i . Для определения закономерности, описывающей функцию распределения периметров и площадей, использовалась логарифмически нормальная аппроксимация следующего вида:

$$\frac{\delta s}{\delta \ln d_{1экв}} = \frac{\exp \left(-\frac{\ln^2 \frac{s}{s_{50}}}{2\delta_s^2} \right)}{\sqrt{2\pi} * \delta_s} \quad \text{и} \quad \frac{\delta p}{\delta \ln d_{2экв}} = \frac{\exp \left(-\frac{\ln^2 \frac{p}{p_{50}}}{\delta_p^2} \right)}{\sqrt{2\pi} * \delta_p}, \quad (3)$$

где $\delta_s = \ln \delta_{gs}$, $\delta_p = \ln \delta_{gs}$.

Параметры распределений в формуле (3) находились методом наименьших квадратов по соотношению:

$$Y = a + b * X, \quad (4)$$

где $Y_i = \Phi^{-1}(y_i)$, $X_i = \ln(n_i / \sum x_i)$;

$\Phi^{-1}(y)$ - функция обратная нормальному распределению для среднего и стандартного отклонения; коэффициент корреляции (r) и коэффициенты уравнения регрессии a и b для определения соотношения (4) определялись с помощью функций статистической обработки Excel.

По значениям a и b вычислялись параметры p_{50}, s_{50} (медианные эквивалентные размеры периметра и площади), δ_{gp} и δ_{gs} (дисперсия логарифмов эквивалентных диаметров по периметру и площади) по формулам:

$$p_{50}(s_{50}) = \exp\left(-\frac{a}{b}\right),$$

$$\delta_{gp}(\delta_{gs}) = \exp\left(\frac{1}{b}\right). \quad (5)$$

Эквивалентные диаметры рассчитывались по формуле (1).

В табл. 3 представлены полученные результаты при обработке частиц неправильной геометрической формы, в табл. 4 – частиц правильной сферической формы.

Результаты табл. 4 позволяют судить о точности предложенной методики, видно, что определенные величины получены с относительной ошибкой 1-2%. В результате обработки проб частиц неправильной формы определен спектр их размеров. Выявлено, что спектр размеров таких частиц достаточно хорошо описывается логарифмически-нормальным распределением, для которого определены параметры, как для площадей, так и периметров.

Таблица 3

Площадь, мкм ²					
a	b	r	$S_{50}, \text{мкм}$	δ_{gs}	$d_{50 \text{ экв}}, \text{мкм}$
-5,4	1,2	0,990	103,15	2,4	11,5
Периметр, мкм					
a	b	r	$P_{50}, \text{мкм}$	δ_{gp}	$d_{50 \text{ экв}}, \text{мкм}$
-8,6	2,4	0,997	36,45	1,5	11,6

Таблица 4

Площадь, мкм ²					
a	b	r	$S_{50}, \text{мкм}$	δ_{gs}	$d_{50 \text{ экв}}, \text{мкм}$
-15,1	1,8	0,945	4792,04	1,7	78,1
Периметр, мкм					
a	b	r	$P_{50}, \text{мкм}$	δ_{gp}	$d_{50 \text{ экв}}, \text{мкм}$
-20,9	3,8	0,969	245,54	1,3	78,2

Результаты статистического анализа аэрозольных частиц показали, что медианные эквивалентные размеры, определенные по значениям периметра и площади близки друг к другу. Однако диапазон размеров (δ_g) при определении эквивалентного диаметра по измеренным периметрам существенно отличается от аналогичной величины, вычисленной из измеренных площадей частиц. Это указывает на то, что для частиц различных размеров форма частиц неизоморфна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1995, 456 с.
2. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Проблема определения «размера» аэрозольных частиц неправильной формы. (в печати)
3. Дюхина Е.И., Беленко О.А. Определение размеров и морфологии грубодисперсной фракции аэрозолей на основе компьютерного анализа микроизображений // Оптика атмосферы и океана, 17, № 5 – 6, Томск, 2004, с. 517 - 520.
4. Baron P.A., Sorensen C.M., Brockmann J.E. Nonspherical particle measurements: Shape Factors, Fractals and Fibers. In.: Aerosol measurement. Ed. By Baron P.A., Willeke K. Wiley – Interscience, 2001, p. 705-749.

© О.А. Беленко, 2005

**АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ОКРЕСТНОСТЯХ
НОВОСИБИРСКИХ ТЭЦ**

Топливо-энергетический комплекс г. Новосибирска включает в себя несколько крупных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), а также около 300 мелких и средних котельных. Основными компонентами выбросов являются угольная зола, тяжелые металлы, окислы серы и азота, полиароматические углеводороды (ПАУ) и др. В качестве основного топлива на ТЭЦ используются каменные угли Кузнецкого и бурые угли Канско-Ачинского месторождений. Несмотря на относительно эффективное сжигание топлива и очистку отходящих пылегазовых смесей, по объемам выбросов ТЭЦ оказывают доминирующее воздействие на территорию города.

1. Характеристика объектов исследования и маршрутов пробоотбора. ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 располагаются неподалеку друг от друга в северо-западной части города. В зоне их постоянного влияния находится значительная его часть. На ТЭЦ-2 выброс отходящих газозоодушных смесей происходит в основном через 2 близко расположенные дымовые трубы высотой 100 и 120 м. В качестве топлива используются преимущественно Кузнецкие каменные угли. К северу от ТЭЦ-2 на расстоянии около полутора километра находится промплощадка ТЭЦ-3. Выброс отходящих газозоодушных смесей происходит в основном через трубу высотой 120 м. ТЭЦ-5 расположена на восточной окраине города. Отходящие дымовые газы от котельных агрегатов удаляются через трубу высотой 260 м и диаметром 10,8 м.

Маршрутный отбор проб снега проводился по направлениям преобладающих ветров в конце зимних сезонов 2001-2004 гг. Точки пробоотбора размещались на открытых участках местности с учетом расположения застройки, ближайших локальных источников (автотрассы, частный сектор, мелкие котельные), лесной и парковой зоны. Наиболее благоприятные условия наблюдений оказались в зоне влияния ТЭЦ-5, что позволило обследовать значительную территорию в радиусе до 16 км от нее. Этому способствовали следующие факторы: большая высота выброса, расположение станции на окраине города, достаточно удобно ориентированная для отбора проб система дорог.

2. Постановки обратных задач. Исходным для построения моделей восстановления загрязнения снега по данным наблюдений концентраций является соотношение

$$\bar{q}_{\bar{\tau}} = \int_0^{\infty} q \rho_{\tau, \bar{\tau}}(q) dq, \quad (1)$$

выражающее связь между $\bar{q}_{\bar{\tau}}$ - средней концентрацией за длительный период - $\bar{\tau}$ и q разовыми концентрациями, относящимися к интервалу времени $\tau \ll \bar{\tau}$, $\rho_{\tau, \bar{\tau}}$ - плотность вероятности для разовых концентраций.

Значения q находятся на основании решений стационарного уравнения турбулентной диффузии

$$u \frac{\partial q}{\partial x} - w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial q}{\partial z} + Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - H). \quad (2)$$

Здесь ось x ориентирована по среднему за период τ направлению ветра, u - скорость ветра, w - скорость гравитационного оседания частиц примеси, K_y , K_z - коэффициенты обмена по осям y и z , Q - мощность источника, расположенного в точке $x = y = 0$, $z = H$, δ - символ дельта-функции.

а) Локальное загрязнение. При расчете средних концентраций в приземном слое атмосферы определяющее значение имеют часто встречающиеся метеорологические условия. К ним относятся так называемые нормальные метеоусловия, для которых применимы следующие степенные аппроксимации скорости ветра и коэффициента вертикального турбулентного обмена

$$u(z) = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n, \quad K_z = K_1 \frac{z}{z_1}, \quad (3)$$

где u_1 и K_1 - значения u и K_z при $z = z_1$.

Переходя в (2) к полярным координатам, с учетом (1), (3) получаем следующее представление для средней приземной концентрации

$$\bar{q}(r, \varphi) = \iint_{\Omega} q(r, \varphi, K_1, u_1) P_1(K_1, u_1) dK_1 du_1, \quad (4)$$

где r, φ - полярные координаты, $P_1(K_1, u_1)$ - совместная плотность вероятности u_1 и K_1 за период осреднения, Ω - область реального изменения u_1 и K_1 ,

$$q(r, \varphi, K_1, u_1) = \frac{P(\varphi + 180^\circ) \cdot q_\Lambda(r, K_1, u_1)}{r}. \quad (5)$$

Здесь $P(\varphi)$ - приземная роза ветров, q_Λ - разовая концентрация от линейного источника.

Использование степенных аппроксимаций (3) скорости ветра и коэффициента турбулентного обмена дает возможность представить $q_\Lambda(r, K_1, u_1)$ в аналитической форме

$$q_{\Lambda} = \frac{Q}{(1+n)K_1\varphi_0 r \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-u_1 H^{1+n}}{K_1(1+n)^2 r}}. \quad (6)$$

Выражение (5) полезно преобразовать к более удобному виду, используя обобщенную интегральную теорему о среднем значении функции, позволяющую представить среднюю концентрацию в следующем виде

$$\bar{q}(r, \varphi) = q(r, \varphi, \bar{K}_1, \bar{u}_1) \iint_{\Omega} P_1(K_1, u_1) dK_1 du_1, \quad (7)$$

где $\bar{K}_1, \bar{u}_1$ - средние значения параметров в области Ω .

Полагая, что концентрация примеси в снеге $\Phi(r, \varphi)$ пропорциональна ее концентрации в атмосфере, с учетом (5)-(7) приходим к следующей регрессионной зависимости

$$\Phi(r, \varphi, \vec{\theta}) = S(r, \vec{\theta}) \cdot P(\varphi + 180^\circ), \quad (8)$$

$$S(r, \vec{\theta}) = \theta_1 \cdot r^{\theta_2} \cdot e^{-\frac{2r_m}{r}}, \quad (9)$$

$$\theta_1 = \frac{c Q_B (2r_m)^w}{2(1+n)\sqrt{\pi}\varphi_0 \Gamma(1+w)}, \quad \theta_2 = -\frac{w}{K_1(1+n)} - 2, \quad (10)$$

c - параметр, характеризующий оседание примеси на снеговую поверхность, $\Gamma(1+w)$ - гамма-функция Эйлера.

Оценки неизвестных параметров θ_1, θ_2 могут быть найдены с использованием данных наблюдений, например по методу наименьших квадратов. Параметр r_m определяется через геометрические характеристики источника.

б) Региональное загрязнение. Процесс распространения примеси на значительном удалении (7-10 км) от источника выброса можно описать с помощью следующей зависимости

$$Q(x, y) = F(x, y) \cdot P(\varphi + 180^\circ), \quad (11)$$

$$F(x, y) = \frac{\theta}{\sqrt{(x-\lambda)^2 + (y-\mu)^2}}, \quad \varphi(x, y) = \arctg \frac{y-\mu}{x-\lambda}, \quad (12)$$

где $Q(x, y)$ - концентрация примеси, в точке (x, y) , λ, μ - координаты точечного источника, $P(\varphi)$ - роза ветров в пограничном слое атмосферы за рассматриваемый промежуток времени; $\theta = M/(2\pi u H)$, M - суммарное поступление примеси, u и H - средняя скорость ветра и высота слоя перемешивания.

Регрессионная зависимость (11) показывает, что для определения функции $Q(x, y)$ достаточно оценить неизвестный параметр θ , используя, например, данные наблюдений в одной точке.

Численное моделирование. Полученные экспериментальные данные по химическому составу снега позволяют провести их интерпретацию в рамках предложенных моделей локального и регионального переноса аэрозольных примесей. Использование зависимостей (8), (11), а также характеристик источников позволяют осуществить обоснованный выбор опорных точек для восстановления полей аэрозольного загрязнения снежного покрова в окрестностях рассматриваемых ТЭЦ.

Имеющиеся данные экспериментальных исследований позволили провести более обстоятельный численный анализ картины как локального, так и регионального загрязнения местности выбросами ТЭЦ-5. Схема пробоотбора представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема маршрутного пробоотбора снега в окрестности ТЭЦ-5.

○ — места отбора проб

На рис. 2,а приведены результаты восстановления нормированной на зимнюю повторяемость ветра концентрации БП в снеге. Анализ рис. 2,а показывает вполне удовлетворительное согласие расчета наблюдениям до расстояний порядка 6-8 км от источника выброса. Максимум аэрозольных выпадений БП заметно смещен к источнику по сравнению со значением $r_m = 3.5$ км — максимумом приземной концентрации для слабо оседающей примеси. Наличие этого смещения означает, что на сравнительно близких расстояниях от ТЭЦ-5 выпадение БП происходит в виде крупных аэрозольных фракций и для установления закономерностей этих выпадений необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований в ближней зоне действия источника. Значительные отличия вычисленных и измеренных значений

концентраций на больших расстояниях от ТЭЦ объясняются следующими двумя основными причинами: неадекватностью используемой модели (9), расхождениями в повторяемости направлений ветра в приземном и пограничном слоях атмосферы.

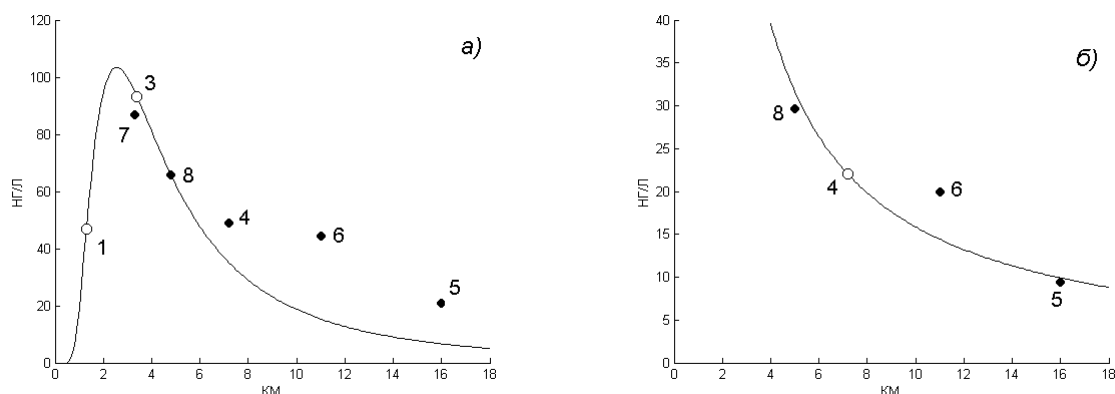


Рис. 2. Нормированное на повторяемость направлений ветра рассчитанное и измеренное удельное содержание в снеге бенз(а)пирена в районе ТЭЦ-5:

а) – восстановление на основе зависимости (9), б) – с использованием (12).

Для анализа данных наблюдений в дальней зоне (тт. 4, 5, 6) целесообразно воспользоваться моделью (11)-(12). Результаты оценивания представлены на рис. 2,б. Для этого использовалась регрессионная зависимость (12) и измеренные концентрации БП, деленные на их вес в долях единицы относительно полной зимней повторяемости направлений ветра в пограничном слое атмосферы.

Заключение

Численный анализ данных мониторинга снегового покрова в окрестностях ТЭЦ г. Новосибирска показывает существование достаточно простых закономерностей формирования полей длительного загрязнения местности. Процедура агрегирования неизвестных параметров существенно повышает эффективность решения обратных задач переноса примесей. По небольшому числу точек измерения и с учетом весьма ограниченной входной информации показана возможность построения количественных моделей длительного аэрозольного загрязнения местности. Сопоставление рассчитанных значений концентраций с измерениями в контрольных точках показало их удовлетворительное согласие. Анализ результатов численного моделирования позволяет сделать вывод о том, что перенос ПАУ происходит в составе, как легких, так и относительно тяжелых аэрозольных фракций и зона значительного влияния станций проявляется на весьма обширной территории.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, проект 13.6, проект РФФИ 05-05-98006.

© В.Ф. Паньма, 2005

АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БОБОВ СОЛОДКИ

Морфология растений изучает строение органов и тканей на всех уровнях от целого растения до клеточных органоидов. Дополнение традиционных методов компьютерными методиками анализа цифровых изображений позволяет расширить набор определяемых характеристик, что важно для систематики растений. При этом анализ стереоскопических моделей позволяет идентифицировать микроструктурные образования на поверхности отдельных конкретных органов растений. Представление коллекционных сборов растений в виде трехмерных моделей улучшает визуальное восприятие, позволяет добиться максимальной наглядности и объективности.

В докладе представлены результаты исследований по применению цифровых изображений для изучения репродуктивных органов (плодов) солодки.

Своеобразие плодов отнесено к существенным признакам, на котором строится определение вида. Так, К. Линней [1] различия в опушении бобов использовал в качестве надежного, хорошо диагностируемого таксономического признака при определении близких видов.

Известно, что плоды в семействе бобовых несут много диагностически-значимых признаков. Это: размеры плода в трех измерениях с указанием формы основания и верхней части; расположение, форма и длина носика; наличие и характер опушения поверхности; толщина швов и наличие на них бороздок; характер поверхности створок; наличие ложных перегородок; характер внутренней поверхности плода и т. д. [2]. Признавая значимость всех перечисленных признаков, целью нашей работы была попытка изучить и показать многообразие микроструктурных образований на поверхности бобов разных видов рода *Glycyrrhiza* [3], идентифицируемых по цифровым изображениям.

В работе были использованы зрелые бобы 20 видов рода *Glycyrrhiza*, собранные в естественных условиях произрастания. Материал был любезно предоставлен к.б.н., с.н.с. лаборатории гербариев ЦСБС СО РАН Гранкиной В.П., за что автор выражает искреннюю благодарность.

Для анализа поверхности плодов солодки применялась методика, основанная на компьютерном анализе цифровых изображений, получаемых цифровой камерой без использования микроскопа, разработанная Трубиной Л.К. [4]. Новизна предлагаемых подходов заключается в применении не только одиночных изображений, но и стереоскопических пар. Формируемые по стереопарам объемные модели обеспечивают трехмерную визуализацию пространственных структур объекта, что облегчает их идентификацию и обеспечивает получение пространственных характеристик формы [4].

Предлагаемая методика включает в себя следующие процессы:

1. Отбор образцов и выбор параметров фотосъемки.

2. Фотографирование цифровой камерой с размещением образцов в тест-объекте.

3. Предварительная обработка изображений для улучшения визуального качества (средствами PhotoShop).

4. Анализ цифровых изображений:

а) Идентификация формы пространственных структур средствами CorelDraw;

б) Определение количественных характеристик изучаемых структур средствами MapInfo.

Подробно содержание процессов описано ниже.

На первом этапе работ были отобраны образцы бобов солодки рода *Glycyrrhiza* с наиболее распространенными типами поверхностей, присущих разным видам, и выполнена их цифровая съемка. Для облегчения процесса фотографирования применялась специально разработанная установка для фиксирования положения камеры и размещения объектов [4]. Съемка проводилась цифровой камерой класса Sony DSC-F707, в режиме макросъемка, в разных ракурсах с максимально возможным увеличением. При линейных размерах исследуемых образцов от 1 см до 3,5 см, увеличение составило $3^x \div 5^x$. Sony DSC-F707 имеет внушительных размеров вариообъектив фирмы Carl Zeiss. По результатам тестирования данный объектив имеет самые высокие показатели по разрешающей способности среди полупрофессиональных камер. Установленная на камере ПЗС-матрица, имеет очень низкий показатель шумов, что напрямую влияет на качество получаемого изображения. Данной камерой можно производить макросъемку с расстояния 2 сантиметра от объектива, что позволяет снимать довольно мелкие объекты (1,5-2 см) в крупном масштабе, это лучший результат среди цифровых камер [5].

Полученные изображения отображались на экране компьютера и при необходимости подвергались дополнительной обработке средствами программного продукта PhotoShop 7.0 для улучшения визуального качества. Использовались процедуры, обеспечивающие выделение и подчеркивание микроструктур поверхности объектов.

Следующим этапом являлась идентификация форм трихом по изображениям средствами CorelDraw 10. Функциональные возможности этой программы позволяют непосредственно по изображению, причем увеличенному, отобразить конфигурацию формы объекта. Среди многообразия трихом, выявленных по изображениям, выделено несколько типов, встречающихся у солодок, кроме того, у отдельных видов, отмечены сочетания разных типов трихом.

Для определения размеров выделенных трихом использовалась ГИС MapInfo. Последующий геометрический анализ выделенных объектов на основе функциональных возможностей ГИС позволяет вычислить количественные характеристики, в нашем случае это - площадь, периметр железок и высота ножек. Для определения густоты размещения микроструктур на изображение объекта наносилась сетка заданного размера, и подсчитывалось количество выростов на один элемент сетки. Полученные характеристики фиксировались в

таблицах, которые экспортировались в Excel, для определения средних значений характеристик на всей поверхности плода.

В итоге, получено и обработано пятьдесят цифровых снимков с изображениями плодов разных видов солодки. При визуальном анализе стереоскопических изображений бобов солодок (рис. 1) выделили 3 типа поверхностей:

– Однородная, представленная выростами, отнесенным к одному типу. Примеры этого у разных видов: железистая, волосистая, покрытая эмергенцами или голая, т.е. без видимых выростов.

– Комбинированная, т.е. одновременно покрытая выростами, отнесенными к разным типам, или волосками с примесью железок или железкам с примесью волосков, или сидячими железками и эмергенцами, или стебельчатыми железками и эмергенцами и др.

– Неоднородная, когда поверхность верхней и нижней частей боба резко различаются. Примеры: верхняя часть густо покрыта эмергенцами, а нижняя голая или в верхней части боба эмергенцы крупные, крючковидные, а в нижней более мелкие, прямые.



Рис. 1. Разнообразие поверхности бобов у видов рода *Glycyrrhiza* L.

1 – однородная (*G. hirsuta* L.); 2 – неоднородная (*G. echinata* L.); 3 – комбинированная (*G. eurycarpa* P.C.Li)

Анализ изображений плодов солодки позволил выявить разнообразие опушения* поверхности бобов отдельных видов солодок (рис. 2).

Наши данные по характеристике поверхностей бобов разных видов совпадают с данными, приведенными во «Флоре СССР» [6].

При анализе выявленного нами морфологического разнообразия выростов нам удалось определить типы и подтипы опушения (наличие или отсутствие ножек и железок), определить густоту размещения выростов и их количественные характеристики, такие как площади и периметры железок, высоту ножек (табл.).

*При описании типов опушения мы руководствовались известным «Атласом по описательной морфологии высших растений» [7], где все разнообразие выростов, признаваемых волосками, подразделяется на несколько, более 30, основных типов. Однако есть другое мнение [8, 9], что выросты подразделяются на трихомы и эмергенцы. При этом в словаре «Биология» [10] трихомы различаются как железистые и нежелезистые. Эту же классификацию использовала Е.В. Байкова [11], изучая морфологию трихом разных органов в роде *Salvia* L.

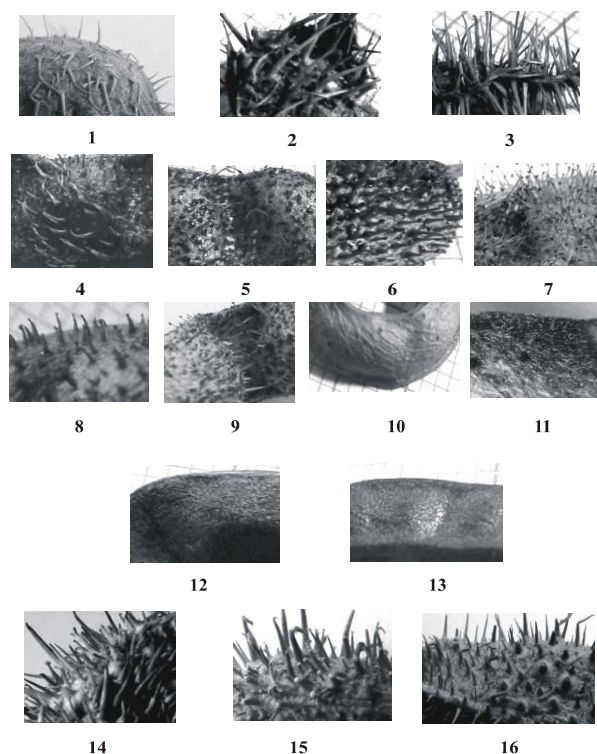


Рис. 2. Разнообразие опушений бобов разных видов солодок рода *Glycyrrhiza* L.

1-*G. kulabensis* T. Masl., 2-*G. pallidiflora* Maxim., 3-*G. achanthocarpa* (Lindl.) J. M. Black, 4-*G. grandiflora* Waldst. et Kit., 5-*G. korshinskyi* Grig., 6-*G. hirsuta* L., 7-*G. viscida* Turcz., 8-*G. gobica* Grankina, 9-*G. soongorica* Grankina, 10-*G. shiheziensis* X.Y. Li, 11-*G. eglandulosa* X.Y. Li, 12-*G. glabra* L., 13-*G. inflata* Batal., 14-*G. eurycarpa* P.C. Li, 15-*G. xanthioides* Vass., 16-*G. erythrocarpa* Vass.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что среди изученных нами солодок, значительную часть составляют виды, опушенные головчатыми железками. Средне-арифметические показатели густоты выростов на единицу площади (1 мм^2) варьируют в пределах $0,3 - 5,2 \text{ шт/мм}^2$. В таблице приведены данные по площади и периметру железистых трихом (при подсчете количественных характеристик не учитывались основания выростов). Площадь определена в пределах $0,007 - 0,085 \text{ мм}$, а периметр от $0,32$ до $1,03 \text{ мм}$. На поверхности бобов, покрытых нежелезистыми трихомами, размеры площадей и периметров не определялись (в таблице это представлено прочерками). Длина самих ножек варьируют в пределах от $0,67$ до $5,5 \text{ мм}$. Максимальные показатели характерны для эмергенцев - от 1 до $5,5 \text{ мм}$, наименьшие размеры - для трихом, в пределах от $0,67$ до $1,3 \text{ мм}$.

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что использование компьютерного анализа при изучении выростов обеспечивает определение количественных характеристик с достаточной точностью. Проведенные исследования показали, что компьютерный анализ цифровых изображений обеспечивает детальное изучение микроструктурных образований на поверхности репродуктивных органов. Показана возможность идентификации на поверхности плодов видов рода *Glycyrrhiza* различных структурных образований по цифровым изображениям. Такие сведения могут представлять

интерес, как для сравнительной морфологии, так и для таксономии и систематики растений.

Полученные цифровые изображения могут служить базой для дальнейшего анализа и создания электронных коллекций солодок.

Таблица. Характеристика микроструктур у некоторых видов рода *Glycyrrhiza* L. (сем. *Fabaceae*)

Название вида	Тип	Подтип	Число на 1 мм ²	Количественные характеристики		
				S, мм ²	P, мм	H, мм
1	2	3	4	5	6	7
<i>G.kulabensis</i>	ЭМЕРГЕНЦЫ	Ш	0,7	-	-	2,651
<i>G.pallidiflora</i>		Ш	1,1	-	-	2,790
<i>G.acanthocarpa</i>		Ш	0,9	-	-	4,596
<i>G.echinata</i>		Ш	1,1	-	-	0,809
<i>G.gobica</i>	ТРИХОМЫ	Ж	5,1	0,018	0,496	1,139
<i>G.grandiflora</i>		Ж	1,2	0,007	0,320	0,964
<i>G.uralensis</i>		Ж	1,2	0,052	1,000	0,743
<i>G.soongorica</i>		Ж	2,0	0,016	0,476	1,290
<i>G.macrophilla</i>		Ж	5,2	0,085	1,033	-
<i>G.korshinskyi</i>		Ж	4,8	0,016	0,519	1,039
<i>G.hirsuta</i>		Ж	4,0	0,013	0,411	1,033
<i>G.zaissanica</i>		В	0,9	-	-	0,670
<i>G.shiheziensis</i>		В	-	-	-	-
<i>G.eglandulosa</i>		В	-	-	-	-
<i>G.glabra</i>		К	-	-	-	-
<i>G.inflata</i>		К	-	-	-	-
<i>G.eurycarpa</i>	СМЕШАННЫЙ	Ш+Ж	1,9	0,026	0,585	2,574
<i>G.xanthioides</i>		Ш+Ж	1,7	0,044	0,789	5,457
<i>G.erythrocarpa</i>		Ш+Ж	3,6	-	-	1,043
<i>G.bucharica</i>		Ш+Ж	0,3	-	-	1,340

где Ш – поверхность покрыта шипами, Ж – железистая поверхность, Ш+Ж – смешанная поверхность, К – кожистая поверхность, В – волосистая; приведены: среднее значение густоты размещения выростов на единицу площади (1 мм²), средние арифметические значения экспериментально измеренных площадей (S), периметров (P) и высоты (H), «-» – характеристики не определялись

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Linnaeus Carl (К. Линней) *Species plantarum*. – Holmiae, 1753. Т. II, 1046.
2. Базилевская Н.А., Ворончихин В.В. Определение по плодам видов рода *Glycyrrhiza* L. и *Meristotropis* Fisch. et Mey. флоры СССР. (Методические разработки) // Составление определителей растений по плодам и семенам. – Киев: Наук. думка, 1974, 10 – 28.
3. Гранкина В.П. Новые виды рода *Glycyrrhiza* L. (*Fabaceae*) из Центральной Азии // Новости сист. высш. раст. – Л.: Наука, 2001. Т. 33, 145–150.

4. Трубина Л. К. Цифровая фотограмметрическая обработка снимков для получения геопространственных данных при оценке состояния экосистем: Автореф. дис. д-ра тех. н.: 25.00.34. – Защищена 20.12.02. – Новосибирск, 2002, 35.
5. Журнал «Компьютер пресс», февраль 2000\Цифровые фотокамеры.
6. Григорьев Ю.С., Васильченко И.Т. Род *Glycyrrhiza* L. и *Meristotropis* Fisch. et Mey. // Флора СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. XIII, 240 – 242.
7. Федоров А.А., Кирпичников М.Э., Артюшенко З.Т. Атлас по описательной морфологии высших растений. Лист. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956, 304.
8. Словарь ботанических терминов / Под. общ. ред. И.А. Дудки. – Киев: Наук. думка, 1984, 308.
9. Ботанико-фармакогностический словарь. Справочное пособие / Блинова К.Ф. и др. Под ред. К.Ф. Блиновой, Г.П. Яковлева. – М.: Высш. шк., 1990, 272 .
10. Биология. Большой энциклопедический словарь. 3-е изд. / Гл. ред. М.С. Гилярев. – М.: Науч.изд-во «Большая Российская энциклопедия», 2001, 864.
11. Байкова Е.В. Морфология трихом у видов рода *Salvia* L. (*Lamiaceae*) // Бюл. Москов. об-ва испытателей природы. Отд. биол., 2001. Т. 106, вып. 4, 58 - 70.

© Е.И. Дюхина, 2005

УДК 556.332.:556.388.+504.4

А.Ю. Озерский

ОАО «Красноярская горно-геологическая компания», Красноярск

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И МЕТОДИКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Уже почти три десятилетия под экологическим мониторингом понимаются непрерывные стандартизированные измерения и наблюдения за параметрами окружающей среды [2, 20]. Подземные воды – один из важнейших компонентов окружающей среды, оказывающий влияние на жизнь человеческих организмов и общественное развитие. Во-первых, подземные воды представляют один из важнейших ресурсов, используемых, прежде всего, для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. В нашей стране доля подземных вод в водоснабжении населения составляет около 15%, а в странах Европейского союза – в среднем около 65%. Тенденция увеличения отбора подземных, убедительно проявившаяся в 1980-е годы [4], сохраняется до наших дней. Во-вторых, подземные воды нередко выступают в качестве фактора, осложняющего среду обитания человека и его хозяйственной деятельности (подтопление территорий, карстовые процессы, просадочность грунтов, обводненность горных выработок, миграция загрязняющих веществ и др.). Как использование подземных вод, так и борьба с их негативной ролью приводит к интенсивному техногенному воздействию на состояние подземной гидросферы, основными отрицательными последствиями которого считаются загрязнение и истощение подземных вод [4].

Соответственно, экологический мониторинг подземных вод можно определить как стандартизированные измерения и наблюдения за процессами их загрязнения и истощения. При этом следует учесть, что подземные воды в большинстве случаев труднодоступны для проведения измерений и наблюдений, вследствие чего практически невозможно обеспечить соблюдение такого важного принципа экологического мониторинга, как его непрерывность.

Пока, в основном в силу экономических обстоятельств, нам доступны только дискретные, но постоянные во времени наблюдения и измерения за состоянием подземных вод.

Из общей цели оценки загрязнения и истощения подземных вод вытекают задачи, решаемые экологическим мониторингом [1, 2]:

- Выявление фоновых параметров гидрогеологических систем;
- Оценка предельно допустимых вредных воздействий на гидрогеологические системы;
- Контроль состояния гидрогеологических систем, в том числе оценка его соответствия нормам, правилам, условиям лицензий на недропользование и водопользование;
- Прогнозирование развития природных и техногенных процессов в гидрогеологических системах;
- Получение исходных данных для оценки запасов подземных вод, водопритоков в горные выработки;
- Информационная деятельность, управление ресурсами и качеством подземных вод.

Экологические оценки процессов загрязнения и истощения, получаемые при осуществлении мониторинга, должны иметь точные количественные оценки, позволяющие выполнять расчеты экологических платежей, фоновых показателей и ресурсов подземных вод, а также применять полученные результаты в арбитражных спорах природопользователей между собой или с государством. Без точных количественных оценок затраты хозяйствующих субъектов на проведение мониторинга будут представлять их прямые убытки.

Необходимость применения принципа точных количественных оценок существенным образом ограничивает возможности дистанционных методов для решения задач мониторинга. Попытка широкого внедрения в программы мониторинга дистанционных методов, сделанная Министерством геологии во второй половине 1980-х годов [17], не дала желаемых результатов в Средней Сибири и автор, участвовавший в выполнении этих работ, не стал бы называть их дешевыми, рациональными, а также доступными и целесообразными для внедрения в широкую практику.

Важным принципом экологического мониторинга является стандартизация его методов измерений и наблюдений. До распада СССР стандартизация наблюдений за состоянием подземных вод организационно и методически обеспечивалась Министерством геологии. На территории страны действовали 118 специализированных гидрогеологических партий по изучению режима подземных вод и экзогенных геологических процессов, в том числе 59 этих подразделений – в России [15]. Все эти партии осуществляли наблюдения и измерения по единым и стандартизированным методикам. До начала 1980-х годов ведущее значение в изучении режима подземных вод имели наблюдения за уровнями, напорами и дебитами подземных вод, позволяющие получать балансовые и ресурсные характеристики [6, 16], решать другие задачи хозяйственной практики [10, 14]. Внедрение стандартизированных требований

к изучению режима химического состава подземных вод было начато только в середине 1980-х годов, тогда же были сформулированы представления о многоуровневой структуре мониторинга, причем были разделены задачи, соответствующие каждому из уровней (региональному, локальному и т.д.) [8]. Большинство методов мониторинга подземных вод, разработанных и внедренных в практику в 1980-е годы, продолжает использоваться и в наше время.

В Российской Федерации изучение режима подземных вод осуществляется в рамках концепции государственного мониторинга геологической среды, который, по представлениям разработчиков этой концепции, основывается на действующей структуре управления недрами страны и также включает федеральный, межрегиональный, региональный, локальный и объектный уровни мониторинга [1, 7, 11]. В общем, эта концепция исходит из идеи преемственности геологоразведочных работ по мониторингу подземных вод, поэтому она плохо соотносится с государственным устройством, организационно-правовыми формами пользования недрами, правами и обязанностями хозяйствующих субъектов, особенно на нижних иерархических уровнях. Поэтому ее можно считать успешно работающей на федеральном уровне, по объектам, финансируемым из бюджета РФ. На региональном уровне большинство субъектов Федерации не финансировали программы мониторинга подземных вод, вероятно по причине отсутствия потребности в их результатах.

Наиболее существенные отклонения от принципа стандартности методов наблюдений характерны для локального и, особенно, объектного уровней мониторинга. Даже объединение в одном Министерстве природных ресурсов (МПР) в 2000-2004 гг. государственных экологической и геологической служб, к сожалению, не привело к унификации методов экологического контроля состояния подземных вод. Под эгидой геологической службы были выпущены методические документы по мониторингу подземных вод в сфере пользования недрами [9, 13, 19], но при этом был оставлен без внимания такой важный источник воздействия на подземные воды, как промышленные предприятия. Отдельные отрасли промышленности пытаются преодолеть недостаток нормативно-методических документов собственными силами, однако это, даже при создании удачных в методическом отношении документов [12], негативно влияет на общегосударственную унификацию методов мониторинга. Наибольший вред повсеместному внедрению принципа стандартизации наносит то обстоятельство, что объектный экологический мониторинг подземных вод имеет двух и более «хозяев» в органах государственного управления. Агентства по недропользованию МПР обеспечивают разработку лицензионных условий пользования недрами, в том числе методики, организации и проведения мониторинга. Служба по надзору в сфере природопользования МПР, а также Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору контролируют объекты мониторинга, причем каждая из них руководствуется различными и не совпадающими методиками. Свой вклад в неупорядоченность вносят органы Госанэпиднадзора [3], Минпромэнерго (бывшего Госстроя) [18], в результате чего несогласованность методов экологического мониторинга

подземных вод на объектном уровне практически полностью исключила применение принципа стандартизованности наблюдений. Каждое ведомство предлагает свою методику отбора проб, набор исследуемых компонентов, периодичность отбора проб. При этом каждая из названных государственных служб считает свою методику приоритетной, а остальные – *a priori* неприемлемыми. С научной точки зрения многие из этих нормативно-методических требований могли бы показаться смешными, если бы не большие права и полномочия применяющих их органов. Что можно сказать, например, о требованиях государственных экологических органов определять в подземных водах содержания взвешенных веществ, БПК, а в скважинах, обсаженных железными трубами – контролировать и этот элемент? Тем не менее, предприятия вынужденно подчиняются этим требованиям, допуская нецелесообразное расходование государственных или частных средств. Большой вред качеству и объективности результатов мониторинга наносит фискальный характер контроля со стороны службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, где главной целью мониторинга, по-видимому, являются экологические платежи и штрафы, вне и без анализа фоновой ситуации, не зависящей от предприятия.

В нашем регионе перед предприятиями природоохранными органами нередко ставится задача бурения так называемой «фоновой» скважины с проведением в ней наблюдений, что, конечно, не может выдержать серьезной научной критики. Единичный «фоновый» водопункт объективно не может служить источником достоверных знаний о реальном фоновом составе подземных вод, если учесть крайне незначительное количество отбираемых из него проб. Сведения, полученные по так называемой «фоновой» скважине, характеризуют состав подземных вод только по этой скважине и не могут учесть стохастических флуктуаций химического состава подземных вод по горизонту в целом. Статистический анализ показывает, что при ежеквартальном опробовании из одной скважины ошибка определения среднего по большинству компонентов превышает допустимые нормы погрешности [5] в 1-2 раза.

Задачу получения достоверных фоновых показателей, как основы для оценки и прогноза изменений состояния гидрогеологических систем, вероятно, должны решать на региональном или федеральном уровнях государственного мониторинга или при региональных геоэкологических исследованиях. Однако до сих пор этого не делается и получаемые региональные (по существу, фоновые) данные поступают на хранение в геологические фонды, оставаясь недоступными для большинства природопользователей.

Таким образом, систему мониторинга подземных вод пока можно охарактеризовать как сложную и весьма неупорядоченную совокупность наблюдений, мера неупорядоченности которой возрастает от регионального уровня к объектному. Мониторинг на объектном уровне по существу таковым не является, так как не имеет стандартного набора контролируемых показателей и стандартной периодичности наблюдений, что не позволяет достоверно сопоставлять результаты по различным предприятиям между собой. Причины неупорядоченности определяются, прежде всего, ведомственной

разобщенностью и различными целями контролирующих государственных служб, наличием множества методик, отсутствием ведущей государственной структуры, имеющей приоритетное право в организации мониторинга подземных вод. Последние, в силу своей двойственной природы, подчиняются действию двух базовых законодательных актов, слабо увязанных между собой: закона «О недрах» и «Водного кодекса». По нашему мнению, это является основной причиной негативного состояния экологического мониторинга подземных вод в стране в целом.

Мы полагаем, что, вне зависимости от решаемых задач, приоритет в организационно-правовой организации мониторинга подземных вод должен принадлежать Федеральному агентству по недропользованию, которое должно быть наделено исключительным правом утверждать все методические документы в области контроля состояния подземных вод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вартанян Г.С., Куренной В.В., Шеко А.И. Мониторинг геологической среды // Экогеология России. – Т.1. – Под ред. Г.С. Вартаняна. – М.: ЗАО «Геоинформарк», 2000. – С. 240-247.
2. Врба Я. Программы мониторинга грунтовых вод // Геология и окружающая среда. – Т.1. – Водохозяйственная деятельность и геологическая среда. – Под ред. Е.А. Козловского. – М.: ЮНЕП, 1990. – С. 67-85.
3. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения. Санитарные правила СП 2.1.5.1059-01. Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 21 августа 2001 г. Рег. № 2886. – М.: Минздрав РФ, 2001 г. – 11 с.
4. Гольдберг В.М. Основные вопросы охраны подземных вод // Гидрогеологические основы охраны подземных вод. Т. 1. Научно-методические руководство. Под ред. Е.А. Козловского, К.И. Сычева. – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1984. – 411 с.
5. ГОСТ 27384-2002. Межгосударственный стандарт. Вода. Нормы погрешностей измерений показателей качества и свойств. – Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации 5 апреля 2002 г., протокол № 3. – Минск, ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 5 с.
6. Киселев П.А. Изучение баланса подземных вод в слоистых толщах по режимным данным. – М.: Недра, 1975. – 116 с.
7. Макет программы работ по ведению ГМГС на территории субъекта Федерации. М.: МПР РФ, 1998. – 40 с.
8. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных (изучение режима химического состава подземных вод). – Одобрены Управлением гидрогеологических работ Мингео СССР 28 июля 1984 г. – Под ред. В.М. Гольдберга, М.С. Галицына. – Москва, ВСЕГИНГЕО, 1985. – 76 с.
9. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных скважинах. – М.: ЗАО «Геоинформарк», 2000. – 28 с.
10. Методические рекомендации по организации и проведению наблюдений за режимом подземных вод для прогноза землетрясений. – Утверждены Мингео СССР 22 ноября 1980 г. – Москва, ВСЕГИНГЕО, 1983. – 94 с.
11. Методические рекомендации по организации территориальных подразделений государственного мониторинга геологической среды (ГМГС). – М.: ВСЕГИНГЕО, 1994.
12. Методические указания по контролю за режимом подземных вод на строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанциях. РД 153-34.1-21.325-98. – Утверждены

Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО «ЕЭС России» 30.06.98. – М.: ОРГРЭС, 1999 – 35 с.

13. Мониторинг месторождений и участков водозаборов питьевых подземных вод (Методические рекомендации). Утвержден МПР РФ 1997 г. – М.: АОЗТ «ГИДЭК», 1998

14. Мониторинг подземных вод криолитозоны / Шепелев В.В., Бойцов А.А., Оберман Н.Г. и др. – Якутск, Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2002 г. – 172 с.

15. Научно-методические основы создания системы «Литомониторинг СССР». – Под. Ред. Д.И. Пересунько. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1991. – 117 с.

16. Организация и производство наблюдений за режимом уровня, напора и дебита подземных вод (Методические рекомендации). Одобрены Управлением гидрогеологических работ Мингео СССР 6 мая 1983 г. – Под ред. А.А. Коноплянцева. – Москва, ВСЕГИНГЕО, 1983. – 85 с.

17. Основные положения по организации и проведению работ на полигонах аэрокосмического мониторинга геологической среды (АКМГС). Методическое письмо / И.В. Кузьмин, А.В. Садов, М.И. Бурлешин, И.И. Пискун. – Утверждено Мингео СССР 9 октября 1986 г. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. – 34 с.

18. СНиП 2.01.28-85. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. М.: Госстрой, 1985. – 14 с.

19. Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых. – Утв. МПР РФ 04.08.2000 г. – М.: МПР РФ, 2000. – 30 с.

20. UNESCO/WHO, 1978. Water Quality Surveys. Studies and Reports in Hydrology 23. – Paris – Geneva.

© А.Ю. Озерский, 2005

УДК 528.4

Д.А. Озерский, С.В. Комонов, Г.И. Кузнецов, Н.В. Балацкая

КГТУ, Красноярск

В.И. Аникеев, А.Г. Пухтовников

ОАО «Ачинский глиноземный комбинат», Ачинск

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОСТИ ШЛАМОХРАНИЛИЩА АЧИНСКОГО ГЛИНОЗЕМНОГО КОМБИНАТА

Ачинский глиноземный комбинат является существенным источником воздействия на окружающую среду Красноярского края. Уменьшение этого предприятия на экологию региона является важнейшей природоохранной задачей, над которой работает ОАО «Ачинский глиноземный комбинат» все последние годы.

Шламохранилище расположено на пойме реки Чулыма и предназначено для размещения в нем отходов (нефелинового шлама) V класса опасности. Складирование отходов производится гидравлическим способом. Контроль экологической и производственной безопасности данного гидротехнического сооружения производится с помощью сети специально оборудованных пьезометрических скважин, охватывающих участки формирования, транзита и разгрузки техногенного фильтрационного потока в шламовой толще. По результатам анализа наблюдений в скважинах пьезометрической сети нами было выполнено обоснование экологической безопасности шламохранилища и дана оценка фильтрационного режима и устойчивости ограждающей дамбы карты № 1. В частности, одной из целей исследований являлось подтверждение возможности дальнейшего наращивания дамбы.

Для проведения мониторинга на объекте предусмотрена сеть наблюдательных скважин, размещенных с учетом существующего геоморфологического положения шламохранилища и скорости естественного потока подземных вод. Заложение контрольных створов произведено в соответствии с требованиями СНиП 2.01.28-85 "Полигоны по обеззараживанию и захоронению токсичных промышленных отходов". Глубина скважин – 5-10 м, при этом фильтровая колонна заглублена ниже кровли водоносного горизонта не менее чем на 5 м, что обеспечивает и достоверность получаемой информации.

Отбор проб воды из скважин производится 1 раз в полугодие. Изменение гидрохимической обстановки подземных вод определяется по результатам полного химического анализа на общие макрокомпоненты и спецкомпоненты.

Контрольно-измерительная аппаратура (КИА) осуществляет комплекс натурных наблюдений, включающих визуальный и инструментальный контроль, наблюдения за фильтрационным режимом в 4 пьезометрических створах, геодезический контроль, химический контроль состава подземных вод, исследование свойств намытого материала.

Основными количественными измеренными диагностическими показателями являются:

- Геометрический контур наружного откоса шламохранилища;
- Геометрический контур дамб ярусов наращивания;
- Характеристики материала дамб и намытого массива;
- Отметка уровня воды в отстойном пруду;
- Пьезометрические напоры в намытом массиве, положение поверхности депрессии в створах;
- Длина намытого пляжа;
- Параметры технологии намыва (грансостав намытого материала и его свойства), толщина намываемых слоев, длина участков между выпусками.

Натурное обследование состояния сооружения и уточнение реальных условий эксплуатации карты №1 шламохранилища проводилось в ноябре 2004 г. Изучалось состояние пляжей, берм и откосов намывного массива шламохранилища, признаки суффозионного выноса мелких фракций шламов здесь не обнаружены. Опасные трещины, осадки, оползания и обрушения откосов, а также опасные суффозионные очаги фильтрационного высачивания на внешнем откосе и у его подошвы не выявлены. Имеющиеся ограниченные участки высачивания постоянно контролируются службой эксплуатации и при необходимости укрепляются дренирующими пригрузками. Превышение отметки гребня ограждающей дамбы над отметкой уровня воды в отстойном пруде составляет около 2 м, поэтому перелив воды через гребень и поверхностный размыв откоса в настоящее время практически исключены. Опасные очаги сосредоточенной фильтрации, которые могли бы негативно повлиять на устойчивость сооружения, не обнаружены.

Компьютерное моделирование фильтрации выполнено с использованием программного обеспечения, апробированного на аналогичных объектах путем

сопоставления прогнозируемых и фактических параметров. Последующие расчеты устойчивости откоса, учитывающие результаты анализа фильтрационного потока выполнены в соответствии со СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования», с использованием известной программы УСТО-1 КАЗМЕХАНОБРа – СибНИИГ, неоднократно апробированной при оценке устойчивости аналогичных объектов.

Для компьютерного моделирования фильтрации, выполненного в плоско-вертикальной постановке, выбраны расчетные сечения, обусловленные условиями эксплуатации, расположением контрольных пьезометрических створов и локальными проявлениями фильтрационного высачивания. На основе контрольных фильтрационных расчетов проведена расчетная оценка устойчивости внешнего откоса дамбы для нормального и экстремального режимов эксплуатации шламохранилища. Нормальный режим характеризуется "сухим" состоянием надводной поверхности придамбового пляжа, отметки которой на 5 м превышают отметку уровня воды. С позиций фильтрационного состояния и устойчивости сооружения такой режим является оптимальным. Соответственно, фильтрационная и статическая прочность дамбы тем выше, чем шире пляж, отделяющий урез воды от верхового откоса. В расчетах для экстремального режима пляж отсутствует. Результаты исследований представлены в форме полных гидродинамических сеток, построенных для двух сравниваемых вариантов (рис. 1, 2).

Анализ результатов показывает, что расчетная кривая депрессии приблизительно совпадает с данными натурных наблюдений, а ее поверхность располагается близко к поверхности откоса, что является нежелательным. Увеличение ширины пляжа будет положительно влиять на положение депрессионной поверхности. При ширине пляже 50 – 100 м расчетная кривая депрессии располагается ниже на 1,5÷3 м, чем при отсутствии пляжа.

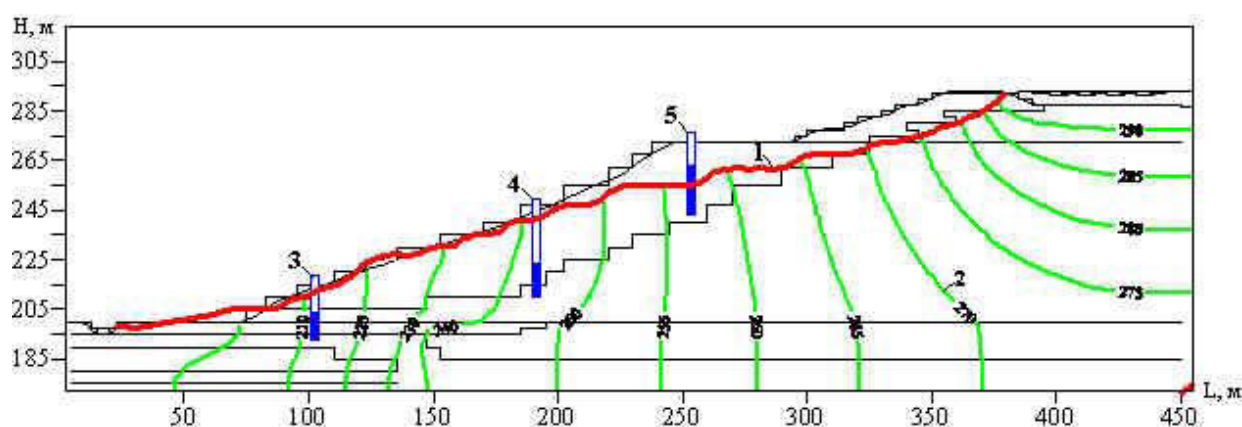


Рис. 1. Фильтрация без учета пляжа:

- 1 – депрессионная поверхность, 2 – линии равных напоров (эквипотенциалы),
3 – пьезометр СП 3-01, 4 – пьезометр СП 3-02, 5 – пьезометр СП 3-03

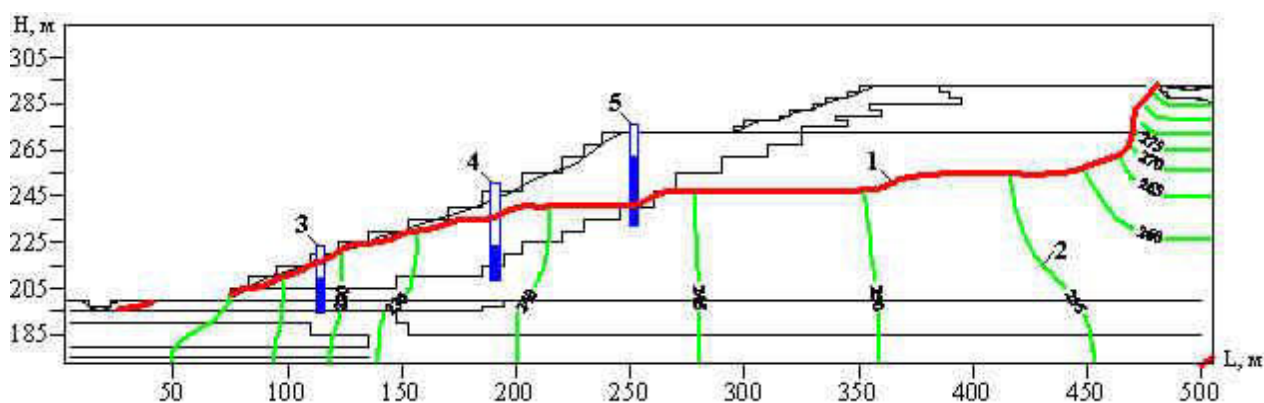


Рис. 2. Фильтрация при наличии пляжа

Расчетами устойчивости низового откоса выше кривой депрессии выделены поверхностные зоны возможного обрушения (рис. 3, 4), требующие при дальнейшей эксплуатации особо пристального внимания к этим участкам повышенного техногенного риска.

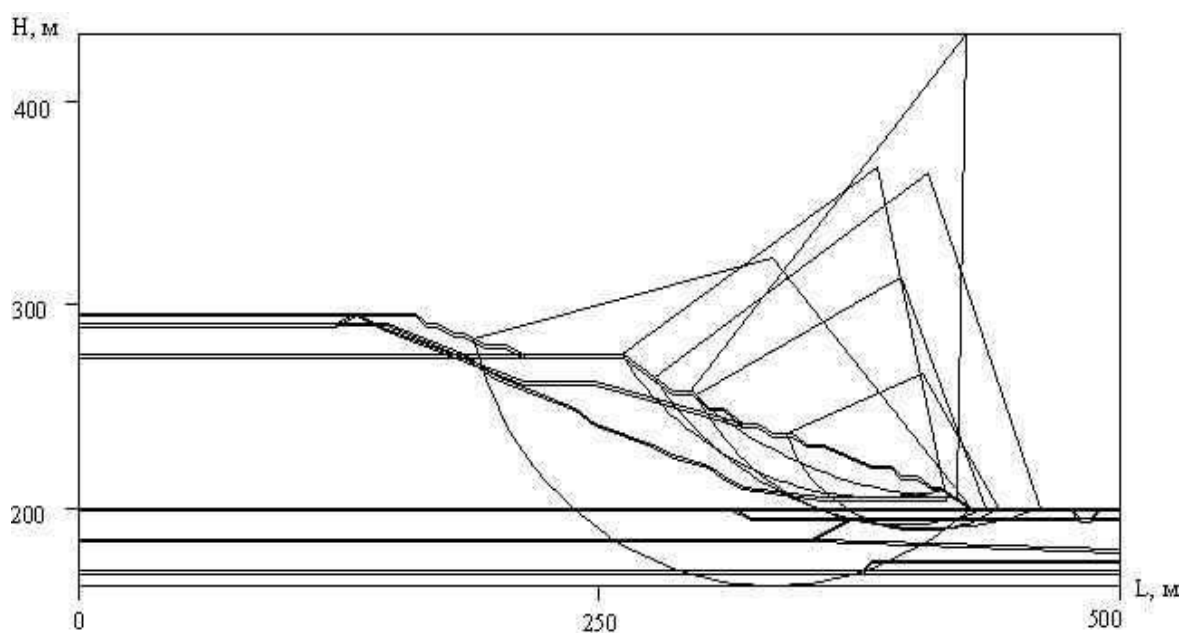


Рис. 3. Устойчивость сооружения при отсутствии пляжа

Во всех расчетных сечениях прогнозируемая кривая депрессии располагается вблизи поверхности откоса в пределах его нижней части. Наблюдения за фактическим положением депрессионной поверхности в теле и основании намывного массива шламохранилища и за внешними проявлениями фильтрации являются важнейшей частью мониторинга состояния данного объекта.

Рекомендовано продолжение наблюдений по действующей системе пьезометров с учетом интенсивности наращивания ограждающих дамб и при необходимости дальнейшее развитие пьезометрических створов. В

необходимых случаях рекомендуется проведение локальных укрепительных мероприятий.

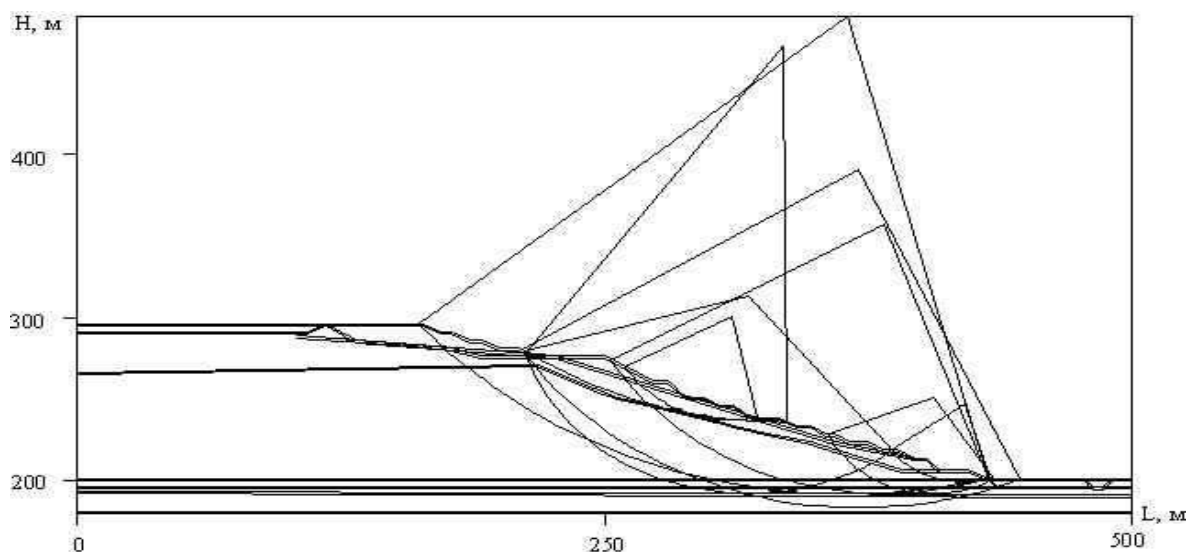


Рис. 4. Устойчивость сооружения при наличии

Необходимо контролировать увлажненные ослабленные участки откоса и при явных признаках оползневых деформаций выполнить выполаживание и местную подсыпку из крупнозернистого грунта. Земляные работы при этом следует вести снизу вверх, начиная от подошвы укрепляемого участка.

© Д.А. Озерский, С.В. Комонов, Г.И. Кузнецов, Н.В. Балацкая, В.И. Анисеев, А.Г. Пихтовников, 2005

УДК 556.332.:556.388: 04.4:620.9

Е.А. Панов, А.Ю. Озерский

ЗАО «МОНИТЭК», Красноярск

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНАХ ЗОЛОТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Под мониторингом подземных вод понимают специальную систему наблюдений, позволяющую осуществлять слежение за процессами, возникающими в подземных водах под влиянием антропогенных воздействий, давать оценку существующего состояния подземных вод и выполнять прогноз его изменения в целях рационального использования и управления водными ресурсами. Экологический мониторинг подземных вод основан на изучении загрязнения подземных вод и оценки масштабов их загрязнения, которые базируются на повторяющихся и непрерывных наблюдениях за режимом подземных вод в определенных пунктах и в определенные периоды времени.

Золошлаковые отходы тепловых электростанций (ТЭС) представляют одну из острейших мировых экологических проблем и Россия не является исключением из этой мировой тенденции. Ежегодно из месторождений Канско-Ачинского угольного бассейна в наши дни добывается около 40 млн. т бурых углей, большая часть которых сжигается на ТЭС Средней Сибири. В наши дни на

1 МВт суммарной (тепловой и электрической) установленной мощности ТЭС приходится около 200 т/год золошлаковых отходов, которые создают существенные проблемы для энергетических предприятий региона и ухудшают состояние окружающей среды.

Ведущим способом транспортировки зол и шлаков в золоотвалы является гидравлический, при котором отходы взаимодействуют с водной средой, вызывая химическое загрязнение последней. Расположение, конструкции и способы эксплуатации действующих золоотвалов не могут защитить подземные воды от проникновения (фильтрации) загрязненных технических вод. Большинство золоотвалов крупнейших ТЭС расположено в пределах водоохранных зон крупнейших рек региона. При проектировании и строительстве золоотвалов ранее не предусматривались противофильтрационные экраны, в результате чего практически из всех отвалов происходит фильтрация загрязненных вод с расходами 1,5-5 тыс. м³/сут [1].

Поэтому важнейшей задачей в области контроля является создание специализированной наблюдательной сети скважин в районе золоотвалов, с деятельностью которых связано загрязнение подземных вод.

Задачами экологического мониторинга подземных вод на участках техногенного воздействия золоотвалов являются:

1. Систематические наблюдения и своевременное обнаружение загрязнения подземных вод, определение размеров области загрязнения.
2. Оценка масштабов и направленности гидрогеодинамических процессов и современного загрязнения подземных вод, изучение развития области загрязнения подземных вод во времени и по площади.
3. Прогноз изменения уровней и процесса загрязнения подземных вод, изучение движения загрязняющих веществ в подземных водах и подготовка на этой основе предложений по водоохранным мероприятиям.
4. Изучение миграции загрязняющих веществ в подземных водах и определение миграционных параметров по наблюдениям за динамикой области загрязнения.
5. Получение систематической и оперативной информации об изменениях режима и качества подземных вод в целях предупреждения и принятия необходимых мер по предотвращению возможных негативных последствий.

На первоначальном этапе организации мониторинга подземных вод задачи:

1. Создание специализированной сети наблюдательных скважин;
2. Исследование геофильтрационных параметров водоносных горизонтов для последующей оценки воздействия на подземные воды;
3. Выявление уровня загрязнения подземных вод и области его распространения.
4. Установление взаимосвязи подземных, поверхностных и сточных вод.

Задачи изучения динамики области загрязнения подземных вод, взаимодействия загрязняющих веществ с подземными водами и породами, прогнозы распространения загрязнения решаются последующими этапами экологического мониторинга.

Сеть наблюдательных скважин для изучения загрязнения подземных вод размещается с учетом следующих факторов:

- Местоположения, характера и размеров золоотвалов;
- Строения водоносного горизонта и его граничных условий;
- Направления естественного движения подземных вод;
- Конфигурации области загрязнения подземных вод;
- Скорости движения загрязненных подземных вод.

Количество наблюдательных скважин и их расположение должно быть **"скользящим"** во времени, т.е. наращивание такой сети должно определяться характером и скоростью перемещения загрязненных вод, которые определяются по результатам начального этапа наблюдений [2,3].

При размещении золоотвалов на равнинных участках местности, с небольшими уклонами уровня подземных вод необходимо предусматривать створы наблюдательных скважин [4]. В каждом створе должно быть не менее двух скважин. Расстояние между наблюдательными скважинами в створе должно приниматься в пределах 50-100 м. Одна скважина должна размещаться на территории участка размещения золошлаковых отходов или в непосредственной близости от него, другая – в санитарно-защитной зоне. Приведенные расстояния могут быть уменьшены с учетом конкретных гидрогеологических условий. При уклоне грунтового потока менее 0,1% створы должны предусматриваться по всем четырем направлениям. При уклоне более 0,1% контрольные скважины могут размещаться по трем направлениям, исключая направление вверх по течению. При длине сторон участка захоронения не более 200 м следует предусматривать на каждую сторону по одному контрольному створу, при большей длине сторон участка створы следует размещать через 100-150 м.

При строительстве золоотвалов в узких долинах, при значительных уклонах поверхности подземных вод размещение наблюдательных скважин производится на основном опорном профиле, ориентированному по потоку подземных вод, с боковыми поперечниками на отдельных участках [2].

Так как основная нагрузка поступающими с поверхности земли загрязняющими веществами падает на грунтовые воды, то наблюдательные скважины оборудуются преимущественно на горизонт грунтовых вод. Глубина вскрытия водоносного горизонта должна составлять не менее 5 м [4]. При сложном строении водовмещающей толщи и наличии гидравлической связи верхнего водоносного горизонта с нижележащим, наблюдательная сеть оборудуется в виде кустов скважин, размещаемых в каждом водоносном горизонте. При большой мощности водоносного горизонта рекомендуются кусты скважин с поэтажным расположением фильтров.

Наблюдательная сеть должна включать как скважины, находящиеся в зоне влияния источника загрязнения, так и фоновые скважины, расположенные на участках, где подземные воды не затронуты процессом загрязнения [2].

Выбор показателей, подлежащих контролю в составе подземных вод, определяется следующими критериями:

- Специфичность компонента (элемента) для водной среды золоотвалов;
- Определяемый компонент должен фиксироваться в сточных водах в концентрациях, превышающих ПДК, установленных для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения и для питьевых вод, или в концентрациях, близких к значениям ПДК;

- При необходимости оценки миграционных параметров, определяемый компонент должен обладать хорошими миграционными способностями в водной среде золоотвалов и практически не сорбироваться на грунтах.

Имеющиеся сведения о химическом составе золы Канско-Ачинских углей и водной среды золоотвалов ТЭС, работающих на этих углях, показывают, что загрязнение подземных вод за счет фильтрации из золоотвалов обычно вызвано следующими компонентами: **рН, железом, барием, стронцием, литием, титаном, бериллием, бором, фенолами и нефтепродуктами** [5].

Обобщение экспериментальных данных и опубликованных материалов по химическому составу вод золоотвалов, выполненное ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева [3] показало, что в осветленных водах золоотвалов в значительных количествах также могут содержаться **алюминий, мышьяк, селен, фтор**. Содержания этих элементов в водной среде золоотвалов ТЭС, работающих на углях Канско-Ачинского угольного бассейна, практически не изучено.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Озерский А.Ю., Озерский Д.А. Складирование золошлаковых отходов Березовской ГРЭС-1 в выработанном пространстве разреза Березовского-1 – перспективное направление охраны окружающей среды региона. – Электрические станции, № 7, 2003. – С. 22–26.
2. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод. (Изучение режима химического состава). М.; ВСЕГИНГЕО, 1985.
3. Рекомендации по контролю за состоянием грунтовых вод в районе размещения золоотвалов ТЭС. РАО "ЕЭС России", 1999.
4. СНиП 2.01.28-85. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. М.; 1985.
5. Гаврилин К.В., Озерский А.Ю. Канско-Ачинский угольный бассейн. М. Недра, 1996.

© Е.А. Панов, А.Ю. Озерский, 2005

УДК 528.4

С.В. Комонов, Д.А. Озерский
КГТУ, Красноярск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НАМЫВНОГО ПЛЯЖА ЗОЛОШЛАКООТВАЛА

Процесс пыления поверхности золошлакоотвалов может быть исследован различными методами – экспериментальными, аналоговыми, расчетными и комплексными. Наиболее полная и достоверная оценка пылящих свойств золошлакового массива на существующих золоотвалах проводится полевыми исследованиями при методически правильной их организации и использовании специальной аппаратуры.

Изучение явления ветровой эрозии с поверхности золоотвалов является весьма актуальным, т.к. ветровая эрозия – второй после фильтрации процесс

распространения загрязнений. Под ветровой эрозией понимается совокупность процессов отрыва, переноса и отложения частиц ветром. Подверженность золошлаковых отложений ветровой эрозии определяется как параметрами ветра, так и совокупностью таких факторов как атмосферные осадки, температура воздуха, рельеф пляжа, гранулометрический и агрегатный состав, влажность золы.

При разработке эффективных методов пылеподавления необходимо предварительно рассмотреть процесс пыления с поверхности надводного пляжа золоотвала.

Цель наших экспериментальных исследований состоит в изучении процессов захвата и переноса ветром золошлакового материала. При моделировании определялись критическая скорость ветрового потока и влажность золошлакового материала, которые являются определяющими в процесс пыления.

Рассмотрение процесса эродируемости золы и пыления поверхности пляжа золоотвала должно учитывать наиболее значимые факторы, воздействующие на окружающую природную среду (ОПС).

В исследованиях рассматривались вопросы интенсивности ветровой эрозии, которая зависит от скорости ветра, устойчивости частиц золы и влажности золошлаковых отложений, и других факторов.

Аэродинамическая установка (рис. 1) спроектирована для исследования процесса пыления зол Канско-Ачинских углей. В установку помещается грузочный ящик с золой (1) для исследования процесса пыления. Диаметр эродируемых частиц золы d (мм) определяется при помощи лабораторных сит. С помощью вентилятора (2) в установку нагнетается поток воздуха различной скорости, от критической минимальной – 2 м/с, до максимальной 20–25 м/с. Скорость ветра определяется анемометром (3), установленным в коробе №1 (4). Воздушный поток, проходя над поверхностью золы в коробе №2 (5), выносит частицы различных фракций. Процесс пыления можно наблюдать через стекло (6). Вынесенные частицы оседают в коробе №1 и попадают в ящик для сбора золы (7). Исследования проводятся для установления выноса количества и фракционного состава золы при различных скоростях ветра и влажности золошлакового массива.

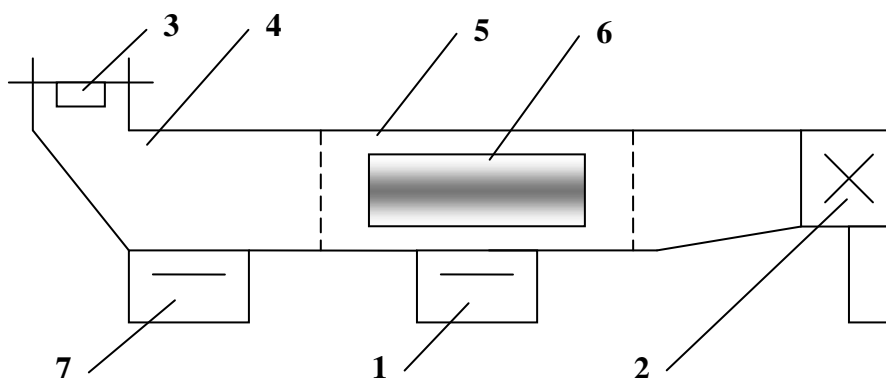


Рис. 1. Схема аэродинамической установки

При производстве эксперимента в загрузочный ящик (50x50x10 см), на площади 2500 см², помещается испытываемая зола слоем (10 см). Скорость движение потока воздуха в установке повышается до момента, когда зола начинает пылить. Затем развивается еще большая скорость воздушного потока, при которой происходит захват ветровым потоком частиц золы и унос в ящик (7). Все исследования проводятся при постоянной температуре и влажности воздуха. Вес материала фиксировался перед опытом и после него.

По результатам опытов строятся графики зависимости количества вынесенных частиц золы от скорости воздуха и времени. В итоге определяется критическая влажность золы, при которой процесс пыления практически невозможен.

Скорость протекания процессов ветровой эрозии зависит от эродируемости поверхности грунта и эродирующей способности ветра. В выполненных экспериментах рассмотрены относительно простые ситуации. В реальных условиях поведение системы зола – воздух сложнее; в частности, эродируемость золы и эродирующая способность ветра варьируют как в пространстве, так и во времени.

Исследование процесса пыления поверхности намывного пляжа из золы Канско-Ачинских углей показало, что скорость протекания процесса пыления зависит:

1. Диаметр и форма частиц. Малопылящей является поверхность золошлаковых отложений, образованная частицами с $d_{п} < 0,05$ мм, что обусловлено взаимодействием и сцеплением между частицами при их более плотном сложении. Наибольшая сдуваемость отмечается для слоя с преобладанием частиц 0,05 – 1,0 мм. С увеличением доли частиц размером более 2,0 – 10,0 мм (за счет фракционирования при намыве слоя, либо по мере эрозионного истощения поверхности сухого участка) интенсивность сдува золошлаков снижается. На графике представлен процесс пыления золы с агрегатной плотностью частиц $\rho = 2,49$, кг/м³ и влажностью золы $W = 5\%$ (рис. 2).

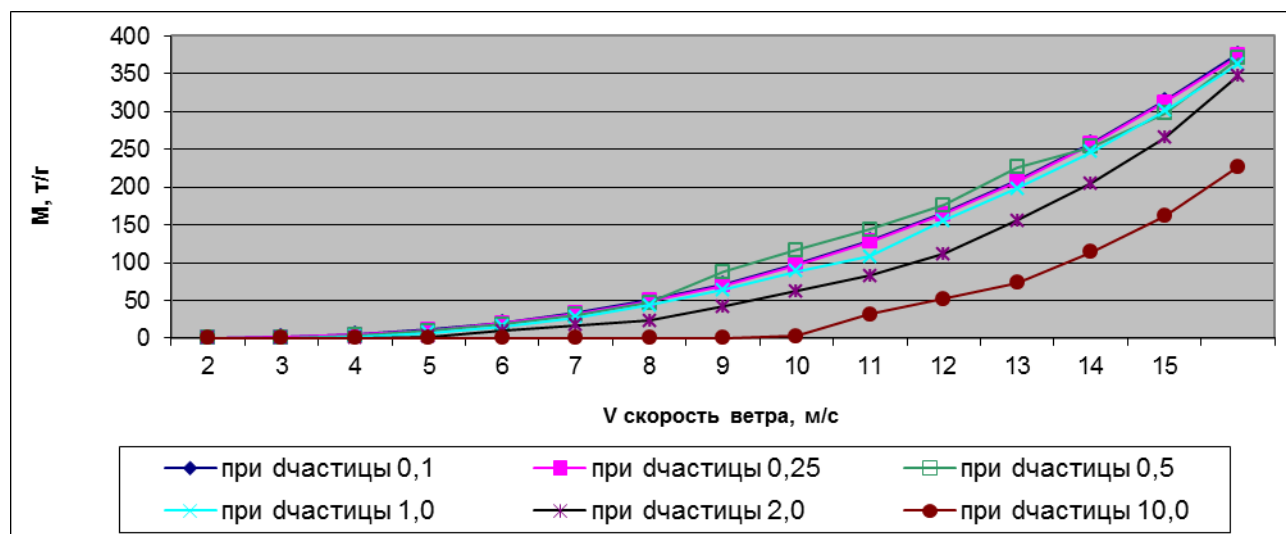


Рис. 2. Пыление золы в зависимости от диаметра частиц и скорости ветра

2. Влага. Золошлаковые отходы гидратационно активны, поэтому имеет тенденция к связыванию частиц. При поверхностном высыхании золы влага удаляется, и связи легко разрываются; в частности это обычно происходит на пляжах золошлакоотвалов. Там же, где преобладают более тонкодисперсные золы или шламы их водоудерживающие свойства выше. Установлено, что при влажности ЗШМ примерно 7 – 10% наблюдается снижение выноса частиц золы и его пылимость. Капиллярное увлажнение поверхности слоя, орошение в качестве способа пылеподавления, осадки, талые воды, изменяя влажность материала, существенно сказываются на пылении поверхности золоотвала. Пыление характерно для участков, где влажность золы составляет 3 – 5% (воздушносухой материал), и полностью исключается при влажности более 10%. Таким образом, при исследовании процесса пыления участка пляжа удельная сдуваемость золы зафиксирована при различной скорости и влажности и представлена на рис. 3 – 5.

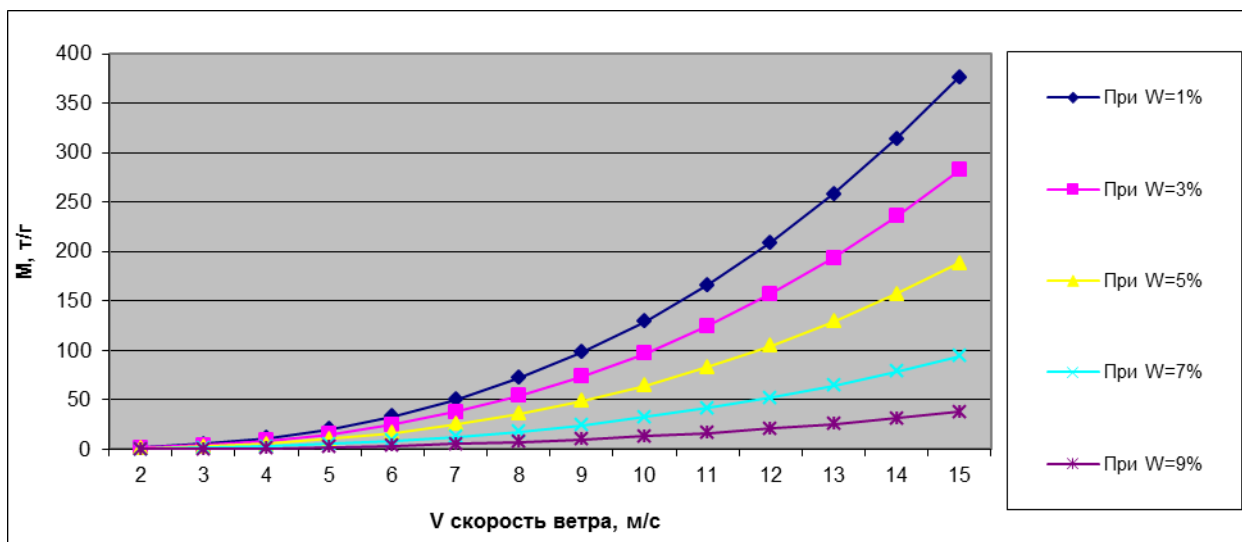


Рис. 3. Пыление золы в зависимости от влажности и скорости ветра

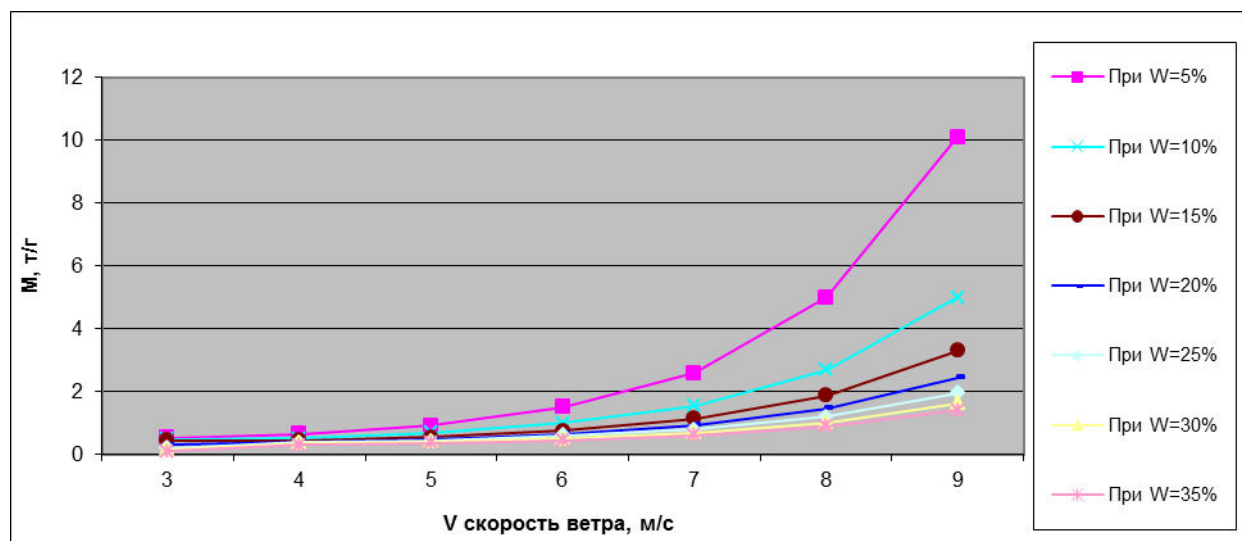


Рис. 4. Пыление золы в зависимости от влажности и скорости ветра

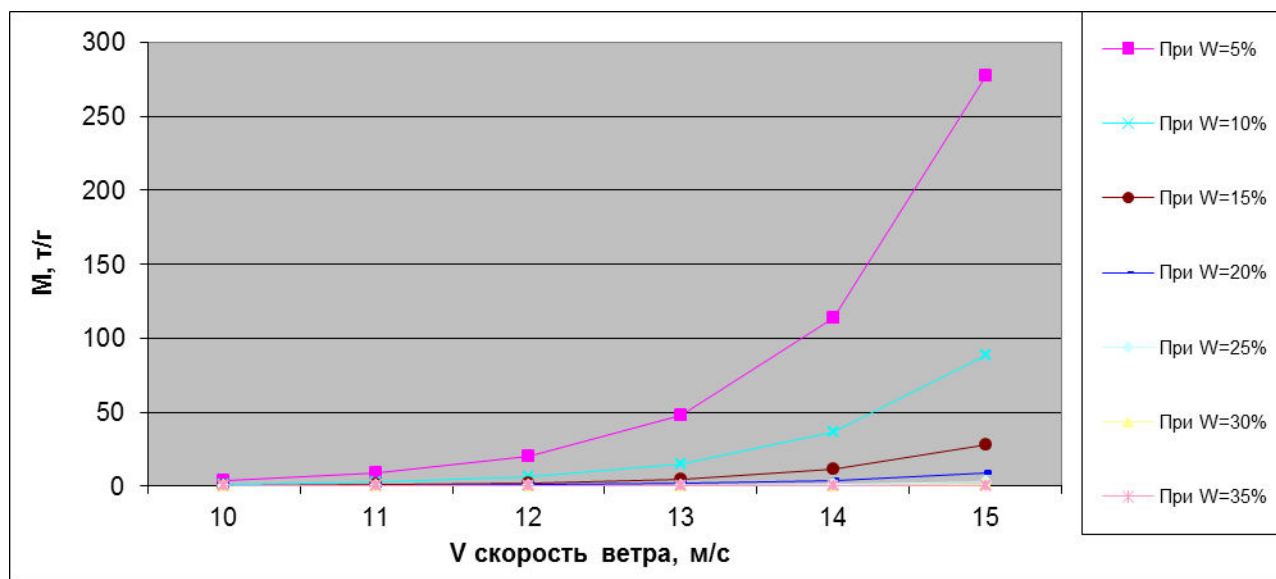


Рис. 5 Пыление золы в зависимости от влажности и скорости ветра

3. Интенсивность пыления. Данный фактор указывает на существенное различие условий пыления сухих свеженамытых участков и зон вторичного пыления, поверхность которых образуется осажденными эродированными частицами. Интенсивность зависит от способа формирования слоя, для намытого слоя золошлакоотвала она на порядок ниже, чем для насыпного и неуплотненного слоя.

4. Структура золы. Этот параметр характеризует состояние поверхностного слоя в зависимости от содержания окиси кальция, пыли и глины в золе, способствует образованию комков (коркообразование, агрегатирование золовых частиц в слое в результате химического взаимодействия), что снижает степень эродируемости. Высокое содержание песка определяет высокую пылимость грунта. Зола Канско-Ачинских углей в наименьшей степени подвержена пылению на пляжах, т.к. даже после гидратации в системе гидрозолоудаления и при намыве в золошлаковом массиве сохраняется остаточная способность к самоцементации; при этом на одних участках пляжей пыление вообще не происходит, на других оно может проявляться, но значительно слабее, чем на пляжах, сформированных из золы другого генезиса. В эксперименте принята однородная структура, т.е. частицы грунта определенного диаметра, влияние комков образованных пылеватыми частицами на процесс пыления не рассматривались.

5. Химическое взаимодействие. Оно является одним из определяющих факторов, и зависит от содержания оксида кальция. При $\text{CaO} < 10\%$ в золоотвале при намыве и хранении не происходит существенной структурной перестройки зернового состава поступающих золошлаков, т.е. взаимодействие частиц между собой слабое и поэтому происходит пыление. При $\text{CaO} = 10 - 25\%$ отмечается частичная структурная перестройка, приводящая к образованию достаточно прочных конгломератов золовых частиц и локальных участков

сцементированных отложений в золошлаковом массиве. При $\text{CaO} > 25 \%$ происходит самоцементация золошлаковых отложений в монолит.

6. Связывающие вещества. Они образуются в результате нанесения органического материала, искусственных компонентов на пылящую поверхность или в результате разложения органического вещества микроорганизмами образуются различные цементирующие вещества, которые способствуют образованию комков снижающих пыление пляжа. Влияние связывающих веществ не рассматривалось.

7. Факторы потока атмосферного воздуха. Опыт, показал, что скорость перемещения грунта пропорциональна скорости ветра:

$$V_i = \sum_{i=1}^n U_i^3 \cdot \tau_i$$

где U_i – средняя скорость ветра, м/с; τ_i – продолжительность развития эрозии, час.

8. Элементы неровности поверхности. Действие ветровых нагрузок на поверхность золошлакового массива является основным фактором, определяющим эродирующую способность ветра. Эти нагрузки, можно разделить на две основные категории - относящиеся к природе воздушного потока и ограничивающие его движение, т.е. элементы неровности (поверхности). Из полученных данных можно определить пылимость грунта C , (в %) которая характеризуется формулой:

$$C = \frac{B}{A} \cdot 100$$

где A – первоначальный вес грунта, гр; B – вес унесенного грунта, гр.

И состав и компоненты экспериментального исследования процесса пыления поверхности намывного пляжа золошлакоотвала рассмотрены, как методическая серия, поэтому для получения наилучших выводов, эти опыты необходимо произвести в более широком диапазоне данных. Полученные данные и определенный опытами критерий влажности позволяет спрогнозировать, оценить и уточнить разрабатываемые методические рекомендации.

© С.В. Комонов, Д.А. Озерский, 2005

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОМЕРЗАНИЯ–ОТТАИВАНИЯ СЛОЕВ ВОДОНАСЫЩЕННОЙ ЗОЛЫ И ЛЬДА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРИОГЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

Вопросы энерго- и теплоснабжения промышленных объектов и населенных мест во многих случаях решаются при устройстве теплоэлектростанций (ТЭС) различной мощности. Для складирования золошлаковых отходов вводятся золоотвалы, являющиеся постоянными источниками загрязнения атмосферы, почвы и водных объектов.

Ущерб окружающей природной среде при эксплуатации золоотвалов наносится в результате фильтрации промышленных стоков через тело и основание дамб, что в свою очередь снижает их устойчивость. Не менее значительное негативное воздействие оказывают процессы пыления надводных зольных пляжей. Оно происходит в результате выноса в атмосферу частиц золы с поверхности сухих пляжей, действующих золошлакоотвалов, а также заполненных и выведенных из эксплуатации, но не законсервированных и нерекультивированных золоотвалов.

В условиях Сибири наиболее апробированной технологией оперативного пылеподавления является кратковременный подъем уровня в пруде и затопление или увлажнение пылящих пляжей в период наиболее активного пылеобразования. Существенным недостатком этой технологии является неизбежное возрастание фильтрационных нагрузок на сооружения (подъем депрессионной поверхности, увеличение выходных градиентов на участке высачивания и соответствующее снижение фильтрационной прочности грунтов и устойчивости откоса).

Предлагается новый способ пылеподавления, который основан на использовании цикла сезонного промерзания-оттаивания в сочетании с ледяным покрытием. В результате замедляется процесс оттаивания и обеспечивается увлажнение оттаявшей поверхности пляжа. Актуальность этой работы определяется недостаточным техническим уровнем существующих способов борьбы с пылением тонкодисперсных промышленных отходов (зола, хвосты, шламы и др.) на поверхности накопителей (золоотвалов, хвостохранилищ и др.).

В условиях Сибири процесс пылеобразования на пляже во многом определяется такими климатическими факторами, как промерзание-оттаивание, сублимация, зимняя ветровая эрозия и др. В то же время эксплуатация различных накопителей показывает, что имеется возможность эффективного использования криогенных процессов для управления пылеобразованием.

Предлагаемый способ основан на использовании естественного процесса зимнего промерзания предварительно увлажненного пляжа и последующим намораживанием на нем слоя льда.

Опытная технология пылеподавления (рис. 1) включает следующие этапы: намыв пляжа; кратковременное затопление пляжа; промораживание

максимально водонасыщенного пляжа; намораживание слоя льда определенной толщины; контролируемое оттаивание мерзлого слоя золы и слоя ледяной теплоизоляции (ЛТИ).

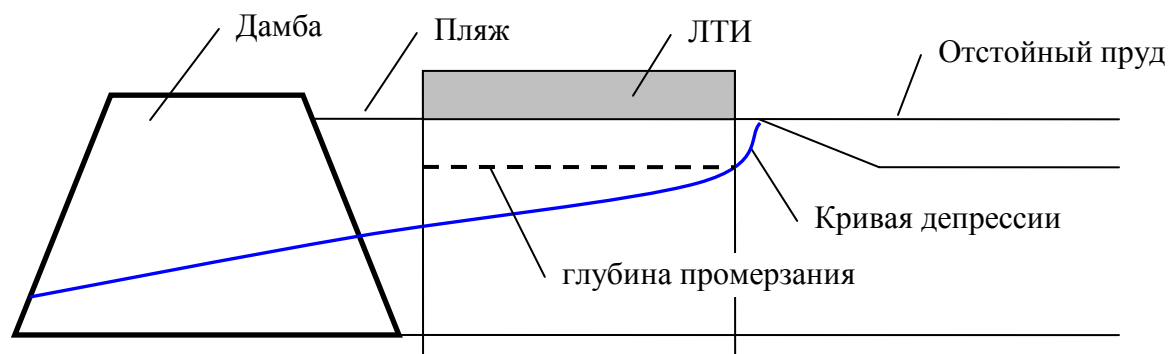


Рис. 1. Схема к расчету промерзания-оттаивания пляжа

В холодный период года слой льда защищает объект от зимней ветровой эрозии. В весенний период медленное таяние слоя льда и переувлажненного (льдонасыщенного) грунта обеспечивает постепенное увлажнение намывного массива. В результате увлажненный слой золошлаков предохраняет пляж от пыления в наиболее активный период, когда происходит наиболее интенсивное выдувание золы (май – июнь).

Расчетно-теоретическое обоснование предлагаемого способа включает вычислительное моделирование процессов промерзания–оттаивания слоев водонасыщенной золы и льда с целью определения оптимальных параметров криогенной технологии пылеподавления.

Тепловые расчеты выполнены также аналитическими методами по известным методикам. Рассматривалось промерзание-оттаивание зольного пляжа без учета ледяной теплоизоляции (ЛТИ) и по предлагаемой технологии. Температурные условия и теплофизические характеристики золы приняты по данным, полученным ранее для Иркутской ТЭЦ-10.

Аналитический расчет выполнен по методу Г.М. Фельдмана. Высота слоя льда изменяется в диапазоне от 0 до 0,30 м. Верхнее граничное условие (ВГУ) назначается как средняя за расчетный зимний период (январь – март) постоянная отрицательная температура поверхности пляжа или льда t_n = минус 20 °С. В качестве нижнего граничного условия задана постоянная положительная температура, равная минимальной температуре фильтрационного потока (t_0 = плюс 4 °С) на различной глубине (2 – 8 м.).

Глубина промерзания пляжа составила 0,55, 0,73, 0,77 м. соответственно в ноябре, декабре и январе, а далее практически не увеличивается.

По первому варианту (без учета ледяной теплоизоляции) глубина оттаивания пляжа составляет в апреле 0,2, мае 0,47, июне 0,61 и в июле 0,67 м.

По второму варианту глубина оттаивания слоя льда и пляжа составила 0,04, 0,19, и 0,29 м соответственно в апреле, мае и июне. Следовательно, защита

поверхности пляжа слоем льда толщиной $\approx 0,25$ м, обеспечивает водонасыщенное состояние поверхности пляжа в течение апреля – июня т.е. в период наиболее активного пыления.

Результаты вычислительного моделирования приведены на геотермограммах, характеризующих изменение температуры зольного массива по глубине в течение расчетного периода.

Расчетная глубина промерзания зависит от теплового влияния фильтрационного потока. При расположении кривой депрессии на глубине 8 м от поверхности пляжа фронт промерзания зафиксирован на глубине 1,7 м. Когда кривая депрессии расположена на глубине 4м, фронт промерзания к февралю опускается на 1,6 м. При поднятии кривой депрессии на 2м и приближении ее к поверхности резко меняется прогнозируемая картина промерзания, т.к. фронт промерзания не может опуститься ниже кривой депрессии. При расположении этой кривой на глубине 2м. фронт промерзания опускается до глубины 1,35 м.

Сопоставляя результаты расчетов, выполненных по аналитическим зависимостям и численным методом, можно сделать вывод об их вполне удовлетворительном совпадении (рис. 2). Положительной стороной вычислительного моделирования является возможность оценки динамики процесса промерзания при изменении краевых условий задачи, а также анализ динамики изменения температуры золошлакового массива по глубине, что аналитическими расчетами можно выполнить только для весьма упрощенных условий.

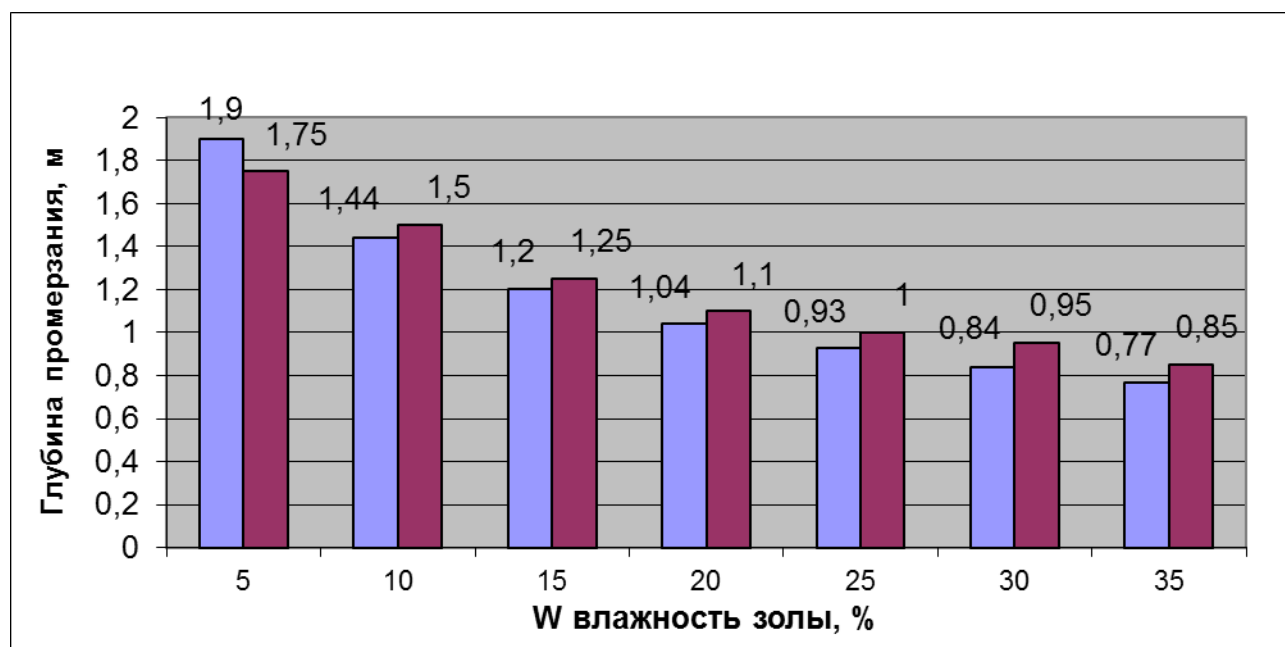


Рис. 2. Сравнительный график динамики промерзания

Совпадение сравниваемых результатов позволяет сформулировать выводы, дающие возможность представить общую картину промерзания-оттаивания золошлакового массива пляжа.

Максимальная глубина промерзания (рис.2) в аналитических расчетах получается равной 0,77 м, в численных расчетах – 0,85 м при влажности золошлакового массива 35%.

По первому варианту промерзший слой полностью оттаивает за весенний период.

По второму варианту, при создании ледяной теплоизоляции (ЛТИ) толщиной 0,25 м процесс оттаивания продлевается почти на 1 месяц (рис. 3). Благодаря этому достигается необходимое увлажнение пляжа талыми водами, что в дальнейшем предохраняет его от пыления.

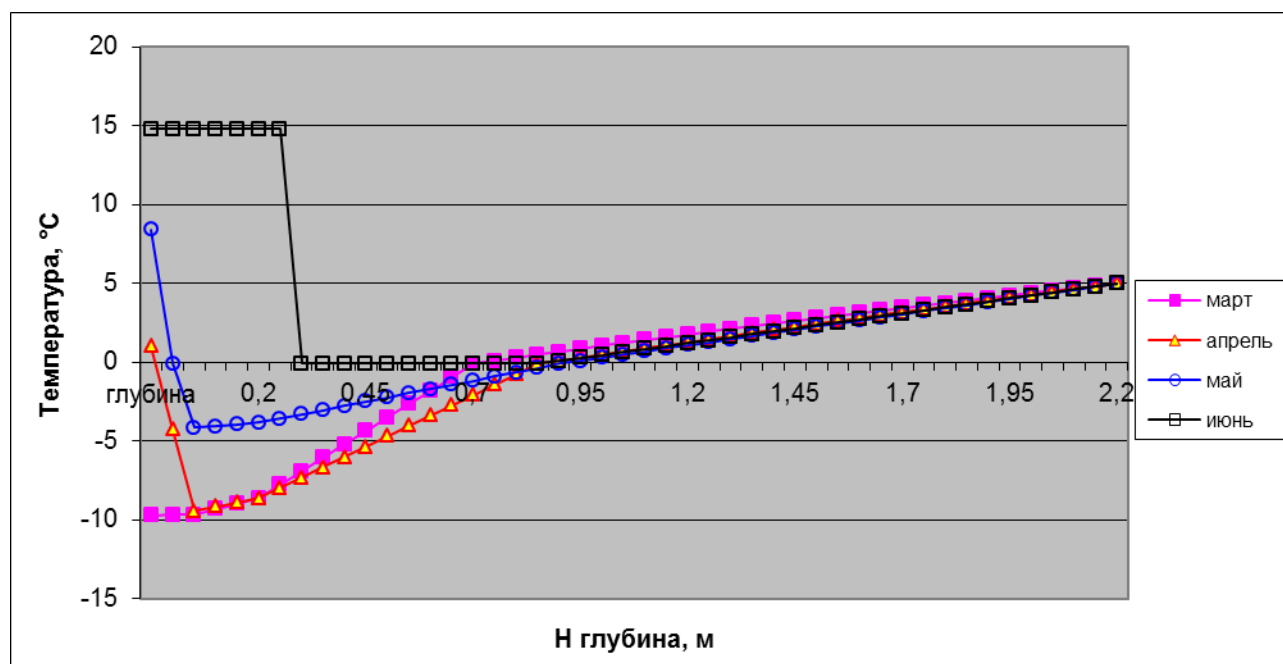


Рис. 3. Динамика оттаивания пляжа при криогенной технологии пылеподавления

Результаты исследований свидетельствуют о возможности применения криогенной технологии пылеподавления для золоотвалов намывного типа, и могут найти применение на Иркутской ТЭЦ-10, Березовской ГРЭС-1, Назаровской ГРЭС, Ачинском глиноземном комбинате, и на других сибирских объектах.

© С.В. Комонов, Д.А. Озерский, 2005

MODELING OF CLIMATE AND LAND HYDROLOGY IN COUPLED CLIMATE MODEL

During the last years, much progress has been made in representing hydrology processes in the land-surface parameterization schemes [1-4]. With the increased interest in the prediction of runoff and soil moisture under present and changed climate conditions an understanding has been that the parameterization of runoff-related processes needs to explicitly account for the topographic control. The land surface model (LSM) for the atmospheric general circulation model (GCM), after integrating with a topography - based runoff scheme is able to produce topography-related runoff and river discharge [5].

The primary purpose of this study is to correct the parameterization scheme surface hydrology and include a model of the river routing of the terrestrial runoff into the oceans. The total runoff (surface and sub-surface drainage) is routed downstream to the oceans using a river routing model. The river routing model is based on the TOPMODEL ideas [6]. The river routing model is coupled to the Land Surface Model (ICMMG SB RAS) for hydrological applications and for improved land-ocean-sea-ice-atmosphere coupling in the Climate System Model (CSM).

1. Topography-based hydrological model (TOPMODEL)

TOPMODEL, a conceptual rain-runoff model, calculate the hillslope response of site specific topography and operate at large watershed scales by using the statistics of the topography. By using the a priori computed topographic index of a catchment and average water storage deficit calculated in the drainage, TOPMODEL directly estimate spatial distributions of the groundwater table and local water storage deficit in the unsaturated zone, and predict the portion of area in the catchment where saturation excess runoff will occur.

The topographic index quantitatively captures the effect of topography on the development of saturation areas in a catchment. A map of topographic indices for a catchment, calculated from the DEM (digital elevation model) of the catchment, shows areas where runoff processes such as saturation-excess overland flow are likely to occur.

Figure 1 shows the calculated curve of topographical index distribution density, based on a GTOPO30 DEM with $1000m \cdot 1000m$ resolution data of topography elevation in the Tom river basin. The topographical index distribution function is influenced by the spatial resolution as follows: distributions in flat areas area smoother than those in mountainous regions.

In the work [8] a regression equation was proposed to relate values of the topographic index at $1000m$ resolution to that at $100m$ resolution. We considered values of the topographic index at 10- minute resolution and at 30-second resolution. It turns that this idea may work for these scales. Figure 2 shows this regression relationship.

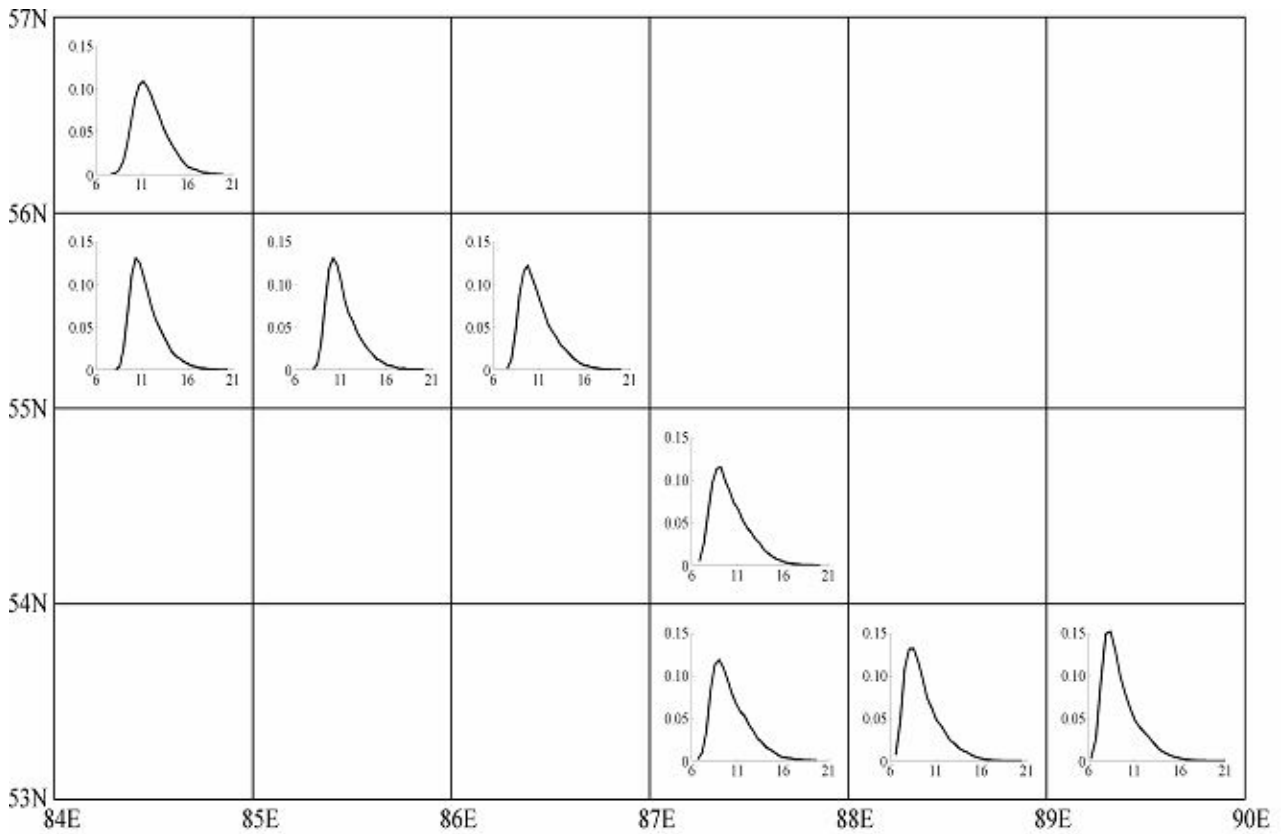


Figure 1. The topographical index computed from GTOPO30 DEMs for the Tom river basin

2. Topography-related runoff model

In order to focus on the topographic effects the topography-related runoff model in this paper does not include the canopy water component, snow, surface runoff and infiltration described in [7]. The parameterizations follows closely the TOPMODEL framework [6] and work of Stieglitz et al. [5].

For focusing on topographic effect of the new version land-surface model, we describe only modified surface and subsurface runoff components of the land hydrology model. The surface runoff consists of an overland flow by Dunne and Horton mechanism, the topographic effect on runoff processes have a mathematical representation.

3. The river discharge model

Discharges from most of the world's largest rivers have large annual cycles. For example, the Amazon peaks in May–June, the Orinoco peaks in August, the Changjiang peaks around July; whereas large Siberian rivers (Yenisey, Lena, Ob,) have a sharp peak in June arising from snowmelt. The basin wide integrated precipitation does not usually have the same seasonal phase as for the river discharge, which illustrates important effects of the snow accumulation and melting and the river.

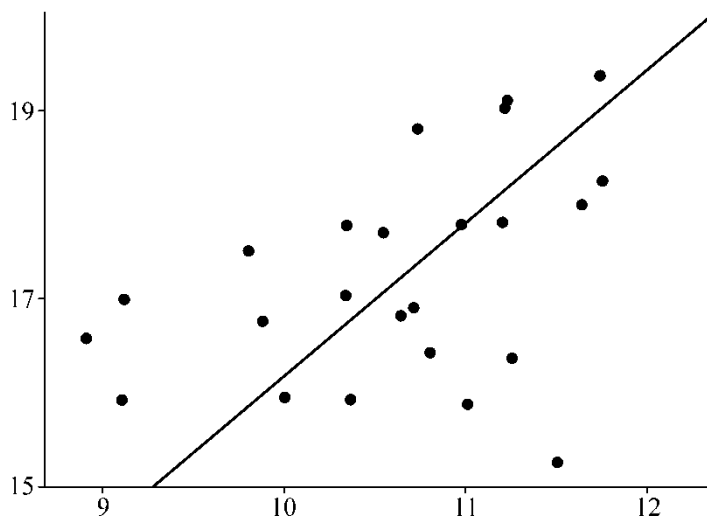


Figure 2. Upscaling function for obtaining 10' equivalent of topographic index from its values for 30-arc-second DEM.

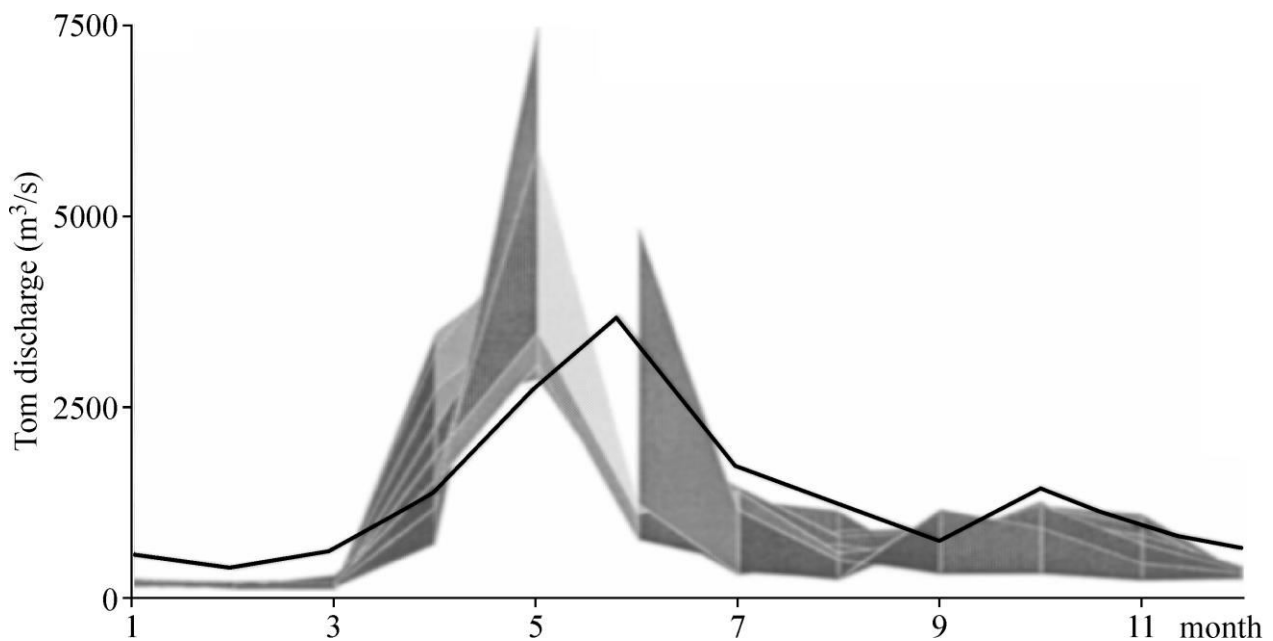


Figure 3. Seasonal water discharge of the Tom river. The solid line – the model result (off-line simulation). Cluster of lines – observations of discharge for period of 1965-1984 years.

Discharges from most of the world's largest rivers have large annual cycles. For example, the Amazon peaks in May–June, the Orinoco peaks in August, the Changjiang peaks around July; whereas large Siberian rivers (Yenisey, Lena, Ob,) have a sharp peak in June arising from snowmelt. The basin wide integrated precipitation does not usually have the same seasonal phase as for the river discharge, which illustrates important effects of the snow accumulation and melting and the

river transport. The total discharge into the Arctic peaks in June, whereas the peak is in May for the Atlantic Ocean and in August for the Indian Ocean. Snow accumulation and melt have large effects on the annual cycle of discharge into the Arctic, Atlantic, Pacific, and global oceans, but little influence on the discharge into the Indian Ocean and the Mediterranean and Black Seas. The long-term mean values of river runoff and continental discharge reported here is available for free download from NCAR's Climate Analysis Section catalog (<http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/>).

To estimate continental discharge into each ocean basin we must sum up the river outflow within each ocean basin. We decide to use some ideas of river routes water models to estimate river outflow [11, 12]. Total runoff (surface and sub-surface drainage) is routed downstream to oceans using a river routing model. River routing model is based on TOPMODEL ideas [6].

A river routing model is coupled to the Land Surface Model (ICMMG SB RAS) [4] for hydrological applications and for improved land-ocean-sea ice-atmosphere coupling in the Climate System Model (CSM). We have implemented this model on a 1-degree grid. Land model interpolates the total runoff from the column hydrology (2.8 by 2.8 degree) to the river routing 1-degree grid. Figure 3 we shown here is result from a regional 1° by 1° off – line simulation (River Tom basin) using global ICMMG LSM. The model is driven with AMIP data from 1979 to 1993.

Conclusion

A new version of the surface hydrology parameterization scheme has been developed and it will be able to estimates of the continental freshwater discharge into the oceans. It is necessary to prepare discharge data from the ocean-reaching rivers selected from several comprehensive streamflow data sets. The drainage area of these rivers is $79.53 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, or about 68% of global non-ice, nondesert land areas. Also, we are going to estimate the river mouth outflow from the Siberian large rivers (Ob, Yenisei, Lena) by adjusting the streamflow rate at the farthest downstream stations using the ratio of simulated flow rates at the river mouth and the station. The discharge from the unmonitored areas was estimated based on the ratios of the runoff and drainage area between the unmonitored and the monitored areas at each latitude. Second, we are also going compute annual continental discharge into the Arctic Ocean by forcing the river waterflux model with the P–E fields derived from the NCEP and the ECMWF reanalyzes with a adjustment for snow effects.

Acknowledgments. The authors thank prof. A.A.Fomenko for his helpful advice.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research under Grant 03-05-96828.

REFERENCES

1. Bonan G.B., 1996: A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological and atmospheric studies: technical description and user's guide. NCAR Tech. Note NCAR/TN-417+STR, 150pp. [Available from NCAR, P. O. Box 3000, Boulder, CO 80307.
2. Bonan G.B., 1998: The land surface climatology of the NCAR land surface model coupled to the NCAR-Community Climate Model // J. Climate, 11, 1307 - 1326.
3. Alekseev V., Volodin E., Galin V., Dymnikov V. and Lykossov V., 1998: Modeling current climate using atmospheric general circulation model of INM RAS: Model description. // Preprint INM RAS, Moscow, 121pp.

4. Krupchatnikoff V., 1998: Simulation of CO₂ exchange processes in the atmosphere surface biomes system by climate model ECSib // Russ J. Numer. Anal. Math. Modelling, 13(6), 479 - 492.
5. Stieglitz M., D.Rind, J.S.Famiglietti and C.Rosenzweig, 1997: An efficient approach to modeling the topographic control of surface hydrology for regional and global climate modeling // J. Climate, 10, 118 - 137.
6. Beven K.J. and M.J.Kirkby, 1979: A physically-based variable contributing area model of basin hydrology // Hydrol. Sci. Bull., 24, 43 - 69.
7. V.N.Krupchatnikoff, A.I.Krylova Numerical modeling of surface hydrology in coupled climate model // Proc. Intern. Conf. "Computational Mathematics ICCM – 2004", Novosibirsk, 2004. – Part II. – P.882-889.
8. Wolock D.M., McCabe G. J .Jr. Differences in topographic characteristics computed from 100- and 1000-meter resolution digital elevation model // Hydrol. Process. –2000. – Vol.14, p.987-1002.
9. Clapp R.B., Hornberger G.M. Empirical equations for some soil hydraulic properties // Water Resour. Res. – 1978. – Vol.14. - P. 601-604.
10. Chen J. and P.Kumar, 2001: Topographic influence on the seasonal and interannual variation of water and energy balance of basins in North America // J. Climate, 14, 1989 - 2014.
11. Hagemann S. and L.Dumenil, 1998: A parameterization of the lateral waterflow for the global scale // Clim. Dyn., 14, 17 - 31.
12. Kuzin V.I., 2003: Hydrological aspects in modeling of Siberian climate // Proceedings of the International Conference "Mathematical Methods in Geophysics". Part II. Novosibirsk, 323 - 327.
13. Miller J.R. Russell G.L. and G.Caliri, 1994: Continental-scale river flow in climate models // J. Climate, 7, 914 - 928.

© V.N. Krupchatnikoff, A.I. Krylova, 2005

УДК 528.9:681.3:577.4:574

Б.Т. Курбанов

Национальный центр геодезии и картографии, Ташкент

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА

Развитие человечества всегда протекало в тесной зависимости с окружающей средой. В процессе своего исторического развития человечество заботило, прежде всего, основная проблема – проблема благополучия. На раннем этапе - это добыча пищи, позднее - увеличение урожая сельскохозяйственных культур преимущественно за счет освоения новых земель, с развитием промышленности – все более интенсивное использование природных ресурсов. При этом человечество не заботили то состояние окружающей среды, к которому приводило непродуманное, порой варварское использование природно-ресурсного потенциала в угоду своего благополучия. В результате усиленными темпами стали развиваться процессы опустынивания, засоления земель, деградации почв, растительного покрова, загрязнения поверхностных вод и др. природа, окружающая среда оказались весьма уязвимыми к чрезмерной эксплуатации и антропогенному прессингу, применению неэффективных систем ирригации и управления водными ресурсами, нерациональных методов землепользования. Ярким примером является Аральский кризис – самая крупная экологическая и гуманитарная катастрофа в новейшей истории человечества, разразившаяся на протяжении

всего лишь одного поколения. Под его воздействием оказались около 35 миллионов человек, проживающих в бассейне Аральского моря. Человечество начало беспокоить состояние окружающей среды только тогда, когда негативные ее изменения привели к изменению климата, снижению урожайности сельхозкультур, начали отрицательно сказываться на комфортности проживания и здоровья населения.

Анализ развития мировой экономики свидетельствует, что в период с 1950 г. до 1985 г. производство зерна возрастало почти на 3 % в год, за тот же период потребление продуктов животноводства на душу населения возросло на 40 %. В 90-х годах ситуация начала меняться в худшую сторону. Обозначились острые противоречия между быстро прогрессирующей численностью населения на Земле и возможностями использования природных ресурсов. Пик ежегодного роста мировой экономики пришелся на 60-е годы и составил 5,2 %. В 70-е годы он снизился до 3,4 %, а в 80-е — упал до 2,9%. С 1990 по 1994 гг. мировой экономический рост составил около 0,5 % в год.

В период с 1950г. до 1985г. почти на 3 % в год возрастало производство зерна, на 40 % за тот же период увеличилось потребление продуктов животноводства на душу населения. С 1985 г. потребление продовольствия на душу населения ежегодно сокращается на 1 %.

Используемые традиционные аграрные технологии исчерпали себя, площадь пахотных угодий, пастбищ, остались практически прежними. Количество производимого зерна, мяса, уловы рыбы не соответствуют темпам роста населения. Аналогичная картина наблюдается и в области потребления минерального сырья.

Ведущие страны мира пришли к пониманию, что выход из складывающейся ситуации следует искать в использовании современных технологий. Рациональное использование природных ресурсов требует привлечения наряду с современными технологиями по добыче, переработке минерально-сырьевых ресурсов, возделыванию продуктов сельскохозяйственного производства, также современных информационных ресурсов и технологий по их использованию. Одним из видов современных информационных продуктов являются материалы космических съемок, которые могут быть успешно использованы для различных отраслей, таких, как сельское хозяйство, экология, поиск полезных ископаемых, оборона и др. [1,2,4,5 и др.] В последние годы существенно повысились объемы использования материалов дистанционного зондирования для решения различных народнохозяйственных задач (табл.1). При этом доля использования материалов космических съемок растет быстрее по сравнению с использованием материалов аэрофотосъемки [3]. Это объясняется несколькими факторами. По разрешающей способности космическая съемка вплотную приблизилась к аэрофотосъемке. При этом кадр космической съемки охватывает большую территорию по сравнению с аэрофотосъемкой, что упрощает процедуру их обработки. В отличие от аэрофотосъемки космическая съемка дает возможность единовременной съемки сразу в нескольких зонах спектра. Космические технологии обеспечивают

съемку в нескольких зонах спектра. Количество спектральных зон может достигать двух сотен (гиперспектральная съемка).

Применение многозональных снимков по сравнению с черно-белыми, при прочих равных условиях дает более достоверную и детальную информацию о состоянии природных ресурсов, видовом составе растительности, его распределении и соответственно занимаемым ими площадями. Цветные снимки по информативности стоят между многозональными и черно-белыми.

Таблица 1. Мировое доленое соотношение объемов использования космических съемок и аэроснимков

Год	Доля аэроснимков, %	Доля космических снимков, %
1995	78	22
2000	60	40
2005	34	64

Для Республики Узбекистан острой проблемой стала усиливающаяся из года в год экологическая и демографическая нагрузка на землю. При сохраняющемся высоком приросте населения площадь пахотных земель на душу населения неуклонно снижается и составляет на сегодня 0.17 га. Вместе с тем потенциал вовлечения в сельхозоборот новых земель, пригодных для ведения сельского хозяйства близок к исчерпанию. Наряду с указанным наблюдается постоянное снижение плодородия и возрастание загрязнения пахотных земель. Во многом росту указанных проблем способствовала монокультура хлопчатника, нарушение севооборота, приводившее к истощению почв, а также чрезмерное потребление минеральных удобрений и ядохимикатов. Низкая культура земледелия ведет к усилению процессов ветровой и водной эрозии, вторичного засоления.

Осознавая необходимость решения эколого-экономо-социальных проблем, стоящих перед Узбекистаном, руководство страны предпринимает ряд мер, направленных на их смягчение. Практически ликвидирована монополия хлопчатника, предпринимаются усилия к повышению эффективности оросительных систем, к общему повышению культуры земледелия. Однако говорить о скорой ликвидации указанных проблем не приходится. По-видимому, для их решения потребуется не один десяток лет.

Глубокий анализ ситуации в аграрном секторе Республики Узбекистан, выработка наиболее оптимальных управленческих решений возможен при наличии достаточного объема актуальной и объективной информации об анализируемых объектах, будь то состоянии посевов, виды на урожай, границы хозяйств или площади под посевными и др.

Стремление наладить эффективное, рациональное и плановое управление в аграрном секторе наталкиваются на массу проблем. В первую очередь – это отсутствие достоверных, объективных сведений, как о местности, так и о характере и режиме землепользования.

На этапе перехода к рыночным отношениям в Узбекистане начаты работы по передаче в аренду фермерам земель сельскохозяйственного назначения.

Земли передаются в аренду сроком до 50 лет с правом наследования. Арендная плата и земельный налог определяются с учетом качества земель, его бонитета. В данной ситуации необходимо с достаточной точностью определить бонитет земель каждого фермерского хозяйства. При этом фермерские хозяйства на этапе становления могут занимать незначительные площади, иногда это всего несколько гектаров. Возникает необходимость организации и ведения мониторинга земель на основе современных информационных технологий и материалов космической съемки высоко разрешения.

В настоящее время в республике ведутся работы по организации мониторинга земельных ресурсов. Работы ведутся на базе ГИС-технологий и с использованием космических снимков Ikonos. Используются красный, зеленый, голубой и ближний инфракрасный зоны спектра. В процессе работы над проектом используются программные продукты Intergraph. Предварительно космические снимки проходят процедуру ортофототрансформирования с использованием цифровых моделей местности. Ведутся работы по созданию банка эталонов дешифрирования, которые планируется использовать в процессе автоматизированного дешифрирования космических снимков.

На основе анализа материалов космической съемки Ikonos решаются следующие задачи:

- Оценка состояния сельскохозяйственных культур, засоренность, изреженность, полегание и пр;
- Идентификация различных сельскохозяйственных культур и определение занятых ими площадей;
- Оценка влияния удобрений на продуктивность посевов и почв;
- Инвентаризация лугов, культурных сенокосов, пастбищ с оценкой их состояния и продуктивности;
- Объективное картографирование сельхозугодий;
- Учет типов землепользования и способов ведения агротехники;
- Составление карт и границ землепользования сельскохозяйственных предприятий и кадастровых карт;
- Изучение состава и свойств почв, почвенное картографирование;
- Почвенно-сельскохозяйственное районирование территории обследуемого региона;
- Выполнение работ по геоботаническому обследованию пастбищ и др.

На основе космических снимков разрабатываются карты сельхозугодий масштаба 1:10000. Анализируя эти карты, фермеры получают возможность определить состояние сельхозугодий и выработать мероприятия, которые целесообразно проводить для повышения урожайности хлопчатника, пшеницы и др. По космическим снимкам выделяются сильнозасоленные или супесчаные почвы, урожайность на которых весьма низкая и их целесообразно вывести из сельхозоборота. На рис. 1 представлен космический снимок одного из районов Баяутского района Сырдарьинской области. Справа показаны территории с сильнозасоленными участками, которые целесообразно вывести из сельскохозяйственного оборота. К настоящему времени проведены работы в двух

районах общей площадью 2000 квадратных километра. В будущем планируется проводить аналогичные работы на всей орошаемой территории Республики Узбекистан.

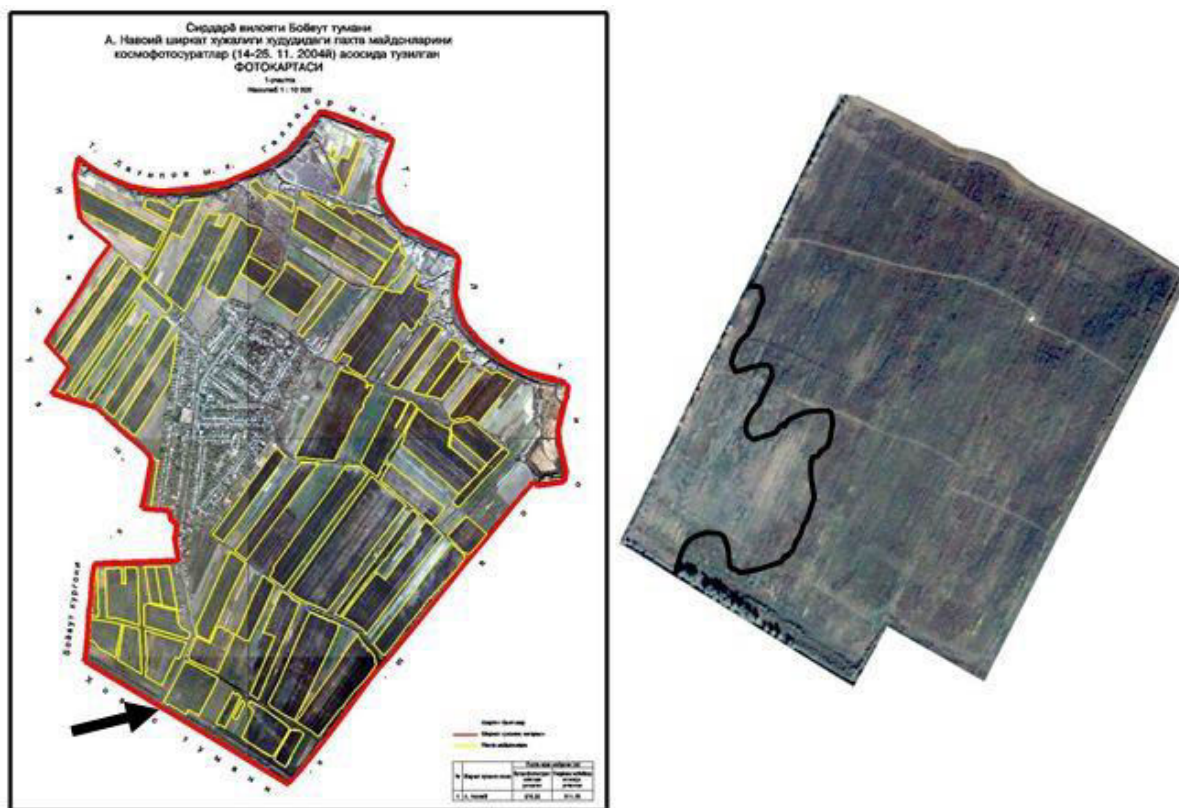


Рис.1. Пример использования космических снимков Ikonos для сельскохозяйственного мониторинга.

Использование материалов дистанционного зондирования (прежде всего результаты разновременной многозональной съемки одних и тех же территорий) позволит в будущем решать следующие задачи:

- Динамическая оценка состояния сельскохозяйственных культур по фазам вегетации (степень созревания);
- Прогнозирование урожайности и определение сроков созревания сельскохозяйственных культур на больших площадях;
- Оценка и контроль динамики хода сезонных сельскохозяйственных работ;
- Контроль за воздействием сельскохозяйственной деятельности на экологическое состояние окружающей среды и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдуазизов А.А., Иванов Б.Т., Курбанов Б.Т., Самборский А.А. Проблемы использования спутниковой информации при создании Единой системы государственных кадастров Республики Узбекистан. // Тез. Докл. Научно-практической конференции «Космические исследования, технологии и конверсия-II». –Ташкент., Узгосагентство космических исследований, 1997.. – С. 9 - 10.
2. Виноградов Б.В. Космические методы изучения природной среды. – М., Наука. 1976 г.
3. Киенко Ю.П. Основы космического природоведения: Учебник для вузов. – М.: "Картгеоцентр-Геодезиздат", 1999. 285 с.

4. Курбанов Б.Т., Салахутдинов Р.З. Оценка состояния окружающей среды: новые подходы и решения. // *Geodeziya, kartografiya va kadastr.* – 1998. - № 1. – С.42-46.
5. Смирнов Л.Е. Аэрокосмические методы географических исследований. – Л., Наука. 1975 г.

© Б.Т. Курбанов 2005

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С НЕПРЕРЫВНЫМ ПОТОКОМ КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ЦЕЛЯХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Постановление правительства Российской Федерации от 16 января 1995 г. № 40 «Об организации работ по созданию геоинформационной системы органов государственной власти» положило начало планомерной разработке географических информационных систем органов государственной власти (ГИС ОГВ) в нашей стране. В Положении о Федеральном агентстве геодезии и картографии, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации (№ 386 от 29 июля 2004 г.), одними из полномочий Роскартографии (п.п. 5.3.4.) определены «создание и ведение в пределах своей компетенции географических информационных систем федерального и регионального назначения».

Цель создания геоинформационных систем органов государственной власти (ГИС ОГВ) Российской Федерации федерального и регионального назначения - в повышении эффективности использования федеральных, региональных и муниципальных информационных ресурсов для информационной поддержки принятия оптимальных управленческих решений в интересах обеспечения:

- Устойчивого развития многопрофильного хозяйства страны и ее отдельных регионов,
- Безопасного и благополучного (в экономическом, социальном, политическом и экологическом аспектах) проживания населения Российской Федерации.

В докладе Комиссии по окружающей среде и развитию Организации Объединенных Наций, понятие «устойчивое развитие» территории определяется как «развитие, удовлетворяющее потребности настоящего времени, но не ставящее под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию утверждена в апреле 1996г. [2].

Таким образом, среди важных задач картографо-геодезической отрасли в настоящий момент следует особо выделить совершенствование информационно-картографического обеспечения органов управления РФ в сфере обеспечения экологической безопасности населения, устойчивого развития территорий субъектов РФ на основе динамично развивающихся геоинформационных технологий.

Современные ГИС, разрабатываемые в целях геоэкологического мониторинга, иными словами – всеобъемлющего контроля состояния окружающей среды, являются комплексными (многоцелевыми и многопользовательскими) информационными системами. Они ориентированы на получение, обновление, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение информации о *пространственных геоэкологических*

объектах, т.е. объектах, характеризующихся параметрами положения в трехмерном земном пространстве и соответствующей геоэкологической семантикой. Тематические базы данных (БД) геоэкологических информационных систем связаны с единой цифровой топографической основой. Вследствие этого, геоэкологические ГИС являются уникальным средством информационно-аналитического обеспечения управленческой деятельности при решении проблем рационального природопользования [2].

На протяжении последних десяти лет Роскартографией в определенном объеме осуществляются работы по проектированию и созданию ГИС ОГВ в субъектах Российской Федерации, В основу разрабатываемых ГИС положены современные отечественные и зарубежные ГИС-технологии, а также данные картографо-геодезического фонда. Важнейшей информационной составляющей в этой работе являются сформированные в предприятиях и организациях Роскартографии банки постоянно обновляемых цифровых топографических и тематических карт.

В структуре геоэкологического мониторинга различных регионов одной из основных составляющих, обеспечивающих получение достоверной оперативной информации о возникновении и динамике экологически опасных ситуаций и прогнозе их развития, являются наблюдения из космоса. **Региональный геоэкологический мониторинг (РГЭМ)** должен основываться на всестороннем, комплексном изучении и картографировании региона с использованием данных космического зондирования и геоинформационных технологий современного состояния и динамики *природных ресурсов*, природных, техногенно-природных и *техногенных комплексов (ПРТК)*.

Комплексное изучение и картографирование с использованием данных космического зондирования (детального фотонаблюдения) современного состояния и динамики *природных ресурсов* и экологических условий территорий (**КИКПР**) инициировалось и осуществлялось Госцентром «Природа» на протяжении 1976-1993 гг. в различных регионах России и зарубежных стран [3]. Работы по КИКПР, проводившиеся на основе интерпретации материалов детальной космической фотосъемки, были ориентированы на изучение главным образом **современного состояния** ПРТК и его картографическое отображение. В результате работ по КИКПР, помимо создания качественно новой картографической продукции (космофотокарт), возникает возможность получения совершенно новых сведений о компонентах природной среды, природных ресурсах территории (по основным их видам), ландшафтно-экологических и социально-экономических условиях регионов.

В результате многолетних исследований больших научно-производственных коллективов под организационным и научно-методическим руководством Госцентра «Природа» у нас в стране и за рубежом созданы региональные серии, включающие в свой состав обновленные топографические и тематические (природно-ресурсные, экологические и социально-экономические) космокарты. Среди регионов России, на территории которых составлены, подготовлены к изданию или изданы серии тематических космокарт разного масштаба (1: 200 000, 1: 500 000 и др.): Калмыкия, Ставропольский и Красноярский края,

Тверская, Новгородская, Смоленская, Самарская, Архангельская области, Северное Прибайкалье, районы Западной Сибири, зона Чернобыльской катастрофы и др.

К регионам ближнего зарубежья, охваченным в 70-80-е годы работами по КИКПР, относятся: Таджикистан, Узбекистан, Киргизия, районы Казахстана (Приаралье, Семиречье), бассейн озера Севан, Белоруссия (Солигорский район), Грузия. Среди регионов дальнего зарубежья, на территории которых Госцентром «Природа» созданы космокарты: Монголия, Куба, Вьетнам, Чехословакия, Венгрия, Финляндия и другие.

В процессе проведения КИКПР сформирована бесценная по своему значению научно-методологическая, технологическая, нормативно-правовая и информационная база по координации взаимодействия организаций отраслевых министерств и ведомств, межотраслевой обработке и тематической интерпретации данных детального космического зондирования в интересах комплексного кадастрового и мониторингового картографирования. В связи с этим представляется целесообразным использовать результаты исследований и накопленный Госцентром «Природа» при изучении и картографировании современного состояния и динамики ПРТК различных регионов РФ.

В настоящий момент, когда экономика России после десятилетнего кризиса, связанного с ее демонтажем, переориентацией и реформированием, вновь на пути к восстановлению и подъему, проведение работ по изучению и картографированию с использованием данных космического зондированного современного состояния ПРТК регионов России чрезвычайно актуально. Проведение работ по КИКПР на основе детальной космической информации обеспечит в кратчайшие сроки органы управления регионами страны самой современной информацией о природных ресурсах, экологическом состоянии, социально-экономических условиях и имущественных отношениях в регионах. В свою очередь, принятие эффективных управленческих решений на основе актуальных, объективных и достоверных данных приблизит нас к решению проблемы устойчивого и экологически безопасного развития России.

За период 1973-1999 гг. в Госцентре «Природа» сформировался уникальный фонд космических фотоснимков, объем которого составляет около 2 млн. оригинальных негативов. Уступая лишь некоторым зарубежным архивам космических снимков по количеству хранимых изображений, он уникален по сочетанию таких их параметров, как детальное пространственное разрешение и большая обзорность, высокое геометрическое качество и многозональность.

Созданный в Госцентре «Природа» фонд данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представляет собой чрезвычайно репрезентативный (как по временному, так и пространственному охвату) информационный массив, имеющий огромную экономическую, историческую и научную ценность в качестве основы для развертывания работ по геоэкологическому мониторингу. В структуре **регионального геоэкологического мониторинга (РГЭМ)** материалы фонда могут и должны играть роль источника базовой ретроспективной информации о состоянии и динамике природных и

техногенных объектов и явлений различных регионов, континентов и планеты в целом по различным временным срезам.

Дальнейшее развитие космической составляющей РГЭМ должно базироваться на данных дистанционного зондирования Земли, получаемых отечественными и зарубежными космическими системами регистрации информационных сигналов в реальном масштабе времени. В ближайшей перспективе в рамках Федеральной космической программы России для решения ряда отраслевых задач будет осуществлен запуск космических комплексов оптико-электронного наблюдения «Ресурс-ДК1», «Монитор - Э», «Ресурс – 01». Обработка космической информации с этих спутников без сомнения позволит осуществлять эффективный контроль состояния параметров окружающей среды и решать массу задач в сфере рационального природопользования.

Важнейшим требованием к ГИС РГЭМ является обеспечение постоянного компьютерного картографического мониторинга событий, происходящих в зонах активного развития неблагоприятных экологических ситуаций, на базе оперативных детальных непрерывно поступающих данных космического зондирования. Для этих целей возможно применение орбитальных систем малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, расположенных в нескольких орбитальных плоскостях [4].

Основные задачи картографо-геодезической отрасли при создании ГИС РГЭМ связаны с их проектированием, разработкой (созданием) и поддержанием на уровне современности. Эффективное решение вышеназванных задач должно обеспечить:

1. Получение, обновление, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение информации о состоянии окружающей среды в регионе. ГИС РГЭМ должна быть полнофункциональной, «открытой» и пространственно распределенной, т. е. обеспечивать объединение в систему сотни и тысячи пользователей, что обусловлено пространственными масштабами страны и сложностью поставленной задачи. Иметь архитектуру «клиент/сервер», развитую систему прав доступа к картографическим и семантическим данным. В полной мере использовать технологии КИКПР.

2. Использование непрерывного потока детальных космических данных в качестве своего рода информационного сырья для получения специальной картографической информации в рамках ГИС РГЭМ, в том числе имеющей статус *документа*. Непрерывный процесс переработки моделями природных и природно-хозяйственных систем поступающей от средств ДЗЗ космической информации в рамках ГИС РГЭМ позволит превращать «сырую» дистанционную информацию в картографические продукты нового поколения.

3. Интеграцию в рамках ГИС РГЭМ технологии имитационного моделирования, полностью базирующейся на растровой модели и методов пространственно-аналитических и оверлейных преобразований данных цифровых векторных карт.

4. Анализ предшествующего, современного и прогнозного состояния объектов управления любой *темы* в рамках ГИС РГЭМ в интересующих

пространственных границах. При рассмотрении прогнозного состояния объектов управления должна обеспечиваться подготовка вариантов развития ситуаций.

5. Фиксацию (в перспективе) изменений в состоянии объектов геоэкологического мониторинга в режиме «on-line» и внесение изменений в цифровые модели местности и предметные (проблемно-ориентированные) БД посредством вычислительных процедур на разных масштабных уровнях рассмотрения.

6. Формирование в ГИС РГЭМ промежуточной и выходной информационно-картографической документации как синтетической картографо-семантической продукции в интересах повышения достоверности и наглядности управляющей статистической информации.

Максимальная эффективность использования данных космического зондирования при решении проблем устойчивого и экологически безопасного развития России может быть достигнута лишь на базе современных геоинформационных технологий. Формирование РГЭМ с непрерывным потоком детальной космической информации позволит обеспечить прогнозирование возникновения и контроль развития неблагоприятных и чрезвычайных ситуаций и, тем самым, предупреждать негативные последствия на этапах планирования и принятия управленческих решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.С. Тикунов, Д.А. Цапук Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение, Москва-Смоленск, Изд-во СГУ, 1999, - 176 с.
2. С.С. Карпухин Основные положения создания географической информационной системы для органов государственной власти регионального уровня//Картография XXI века: теория, методы, практика, Доклады II Всероссийской научной конференции по картографии, посвященной памяти А. А. Лютого, (Москва, 2-5 октября 2001г.), Том I, ИГРАН, М., 2001, С. 126 -131.
3. Ю.П. Киенко, С.С. Карпухин, Е.А. Бровко Роль космического зондирования Земли в обеспечении устойчивого и экологически безопасного развития Российской Федерации // Материалы Международной научно-общественной конференции 2003 г., М., М.Ц.Р., т.3, 2004 г. С. 50-58.
4. Е.Л. Лукашевич, В.А. Горелов Орбитальная система малых космических аппаратов ДЗЗ // Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАиК, Москва, МИИГАиК, 2004 г., С. 185-191.

© С.С.Карпухин, 2005

КЛАСТЕРНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ АНАЛИЗА МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

При дистанционном зондировании для количественного анализа космических многоспектральных изображений применяются как контролируемая классификация (с обучением), так и неконтролируемая – кластерный анализ [1]. Если кластеры, соответствующие различным объектам поверхности Земли, хорошо разделяются в пространстве признаков, то для классификации объектов по изображению может быть достаточно кластерного анализа. Иначе, обычно, применяется теория распознавания образов в сочетании с кластерным анализом. Для применения классической теории распознавания важно иметь унимодальные кластеры.

В работе рассматривается быстрый алгоритм неконтролируемой классификации, разделяющий пространство признаков по унимодальным кластерам. Он основан на многомерной гистограмме, не требует никаких априорных данных, не итеративный. Детальностью кластеризации можно управлять, убирая младшие разряды векторов яркости или сглаживая гистограмму. Поведение плотности вероятности в полученных кластерах может быть в дальнейшем исследовано и применены различные способы оценки разделяемости кластеров, используя полученные таблицы характеристик и карты кластеров. Для последующей контролируемой классификации унимодальные кластеры могут хорошо характеризовать выборки. Проиллюстрирована возможность применения алгоритма к анализу изображений поверхности Земли.

Имеется N спектральных каналов изображения, и спектральные интенсивности каждого канала квантуются на 256 градаций. Вследствие межканальной корреляции число реально присутствующих на изображении N -мерных векторов существенно меньше всего объема пространства измерений, равного 256^N . В рассматриваемом алгоритме для экономии оперативной памяти гистограмма представляется таблицей реально присутствующих на изображении векторов и соответствующих им частот. Гистограмма генерируется считыванием изображения и сравнением каждой точки с текущим списком векторов. Для быстрого доступа к списку векторов используется система хеширования. Если позволяет оперативная память компьютера, то можно использовать простейшую элементарную хэш-функцию, которая рассчитывается как упаковка в целое слово значений интенсивности в N спектральных каналах (если $N \leq 3$). Эта хэш-функция взаимно однозначно связана со значением многоспектрального вектора, и, используя ее, гистограмму можно строить в лоб, выделяя для ее хранения памяти, равный объему всего пространства измерений - $256^N \times 4$ байтов. В общем случае ($N > 3$) для вычисления ХЕШ-адреса каждого вектора можно предложить, например,

функцию вида[2]: $H = \sum_{i=1}^N C_i U_i$, где U_i - значение i -ой компоненты N

спектрального вектора, C_i - постоянные для всего изображения компоненты. Для борьбы с неоднозначностью предлагается использовать две таблицы. В одну заносятся вектора (по их ХЕШ-номерам) и их частоты, а в другую вектора по возрастанию их значений. После однократного просмотра изображения, обе таблицы окажутся упорядоченными по возрастанию векторов. Они объединяются с помощью бинарной SHELL-сортировки. Для алгоритма кластеризации существенно, что вектора упорядочены по возрастанию. Сравнение и арифметические операции осуществляется над записями (в одно слово) векторов для $N \leq 3$ или над полями компонент векторов для $N > 3$.

Суть алгоритма кластеризации состоит в нахождении локальных максимумов многомерной гистограммы в дискретном векторном пространстве и отнесении векторов к соответствующим максимумам. Для каждого вектора составляется список его ближайших соседей. Для каждого вектора строится элементарный граф по направлению максимума положительного градиента плотности вероятности (по окрестности ближайших соседей).

Окрестность упорядоченных по возрастанию упакованных векторов в дискретном N -мерном пространстве содержит для каждого вектора $3^N - 1$ соседей. Любой из этих соседей отличается от данного вектора некоторым сдвиговым вектором, состоящим из компонент $-1, 0, 1$. Для генерации списка соседей вектора каждый из всех остальных векторов должен быть проверен, попадает ли он в окрестность данного вектора. Дискретная природа данных позволяет просто и быстро найти соседей трассировкой линейного списка упорядоченных по возрастанию векторов. Список соседей каждого вектора содержит номера соседних векторов по всем направлениям окрестности.

Если все соседи вектора имеют плотность меньшую, чем он сам, это значит, что гистограмме в этой точке векторного пространства соответствует локальный максимум и данный вектор является корнем соответствующего ориентированного графа. Вектора связываются в деревья с помощью элементарных графов. Таким образом, формируются унимодальные кластеры. Вектора на границе кластеров относятся к кластерам по тому же принципу максимума положительного градиента.

Интерфейс программы позволяет проводить кластеризацию в нескольких режимах. Ориентиром является максимальное число кластеров, которое задает пользователь. Число кластеров можно уменьшать, срезая биты в каждом спектральном канале или сглаживая гистограмму по окрестности ближайших векторов. Можно задать автоматический режим. Более подробно в [3],[4],[5]. Характеристики полученных унимодальных кластеров: значения компонент модального вектора и его гистограммы, площадь, граничные точки по всем спектральным каналам, ковариации заносятся в таблицу и могут быть показаны на экране и сохранены в файл. Карта кластеров получается в виде BMP-файла. Алгоритм реализован средствами VISUAL C++ в многооконном режиме, что позволяет работать с несколькими документами. Параметры кластеризации

задаются в диалоговых окнах. Кластеры на полученной карте можно указывать курсором. Соответствующий кластер высвечивается инвертированным цветом и выводится его номер. Можно задать число самых больших по площади кластеров для вывода на экран или оконтурить их.

С помощью алгоритма исследовались изображения тающих снегов, полученные весной со спутника над территорией Западной Сибири. Изображения сканированы в пяти спектральных каналах: в видимой части спектра (в синем и зеленом диапазонах), в ближнем инфракрасном на длине волны 3,7 мкм и еще в двух инфракрасных 11 и 12 мкм. Сначала кластерный алгоритм применялся для трехспектральных изображений. Были выбраны каналы: два в видимой области и в ближнем инфракрасном диапазоне. Изображение было записано как RGB файл, где В и G соответствовали синему и зеленому, а R инфракрасному диапазону. Анализ полученных в результате работы алгоритма кластерных карт и характеристик кластеров показал, что пространство измерений хорошо разбивается на кластеры. То есть кластеров получается немного, они хорошо разделимы в пространстве признаков и соответствуют объектам поверхности Земли. Даже различные фазы таяния снежного покрова относятся к различным кластерам при выборе достаточной детальности кластеризации [4]. При более грубой детальности (отсечение трех битов в каждом спектральном канале и сглаживании гистограммы) попадают в различные, хорошо разделяемые кластеры следующие объекты: растаявшие участки суши (преобладание инфракрасного), снежный покров (отсутствие инфракрасного), растаявшие водные поверхности (исключительно синий диапазон), непрозрачные облака (белый цвет), хвойные насаждения (преобладание зеленого).

Такие устойчивые спектральные признаки объектов и хорошая разделяемость кластеров могут служить основанием для неконтролируемой классификации. Можно оценивать площади объектов и отслеживать их динамику.

Фрагмент трехспектрального изображения показан на рис.1 слева. В левой части снег в основном растаял. На цветном изображении водные поверхности выделяются ярко-синими пятнами на красном фоне. В левом верхнем углу озеро Чаны, в нижнем левом озеро Кулундинское. Светлые оттенки на озерах - не растаявший лед. От середины немного вниз Обское водохранилище, оно еще под снегом. Справа вверху густое облако. Темные пятна в правой половине снимка – пробивающийся сквозь снег хвойный зеленеющий лес. При срезе трех битов по каждому каналу было получено 2962 вектора. На рис. 1 справа кластерная карта. На карте цвет каждого кластера задавался равным цвету его модального вектора, соответствующего локальному максимуму гистограммы. Получено 21 унимодальных кластера. Самый большой кластер, соответствующий оттаявшей суше, автоматически оконтурен.

Теперь проиллюстрируем результаты кластеризации пяти-спектрального изображения. На рис. 2 слева представлено изображение трех первых каналов в цветосовмещенном формате (RGB-файл). Здесь выбраны два видимых (синий и зеленый) и ближний инфракрасный диапазоны. А на рис.2 справа изображение

в пятом инфракрасном канале на длине волны 12 мкм. Изображение в четвертом канале (11 мкм) визуально практически совпадает с пятым и здесь не приводится. В верхней части изображения тающие снега. В нижней части растаявшая поверхность Земли. По диагонали из левого верхнего угла просматривается русло Иртыша, в правой части изображения видны Ленточные боры.

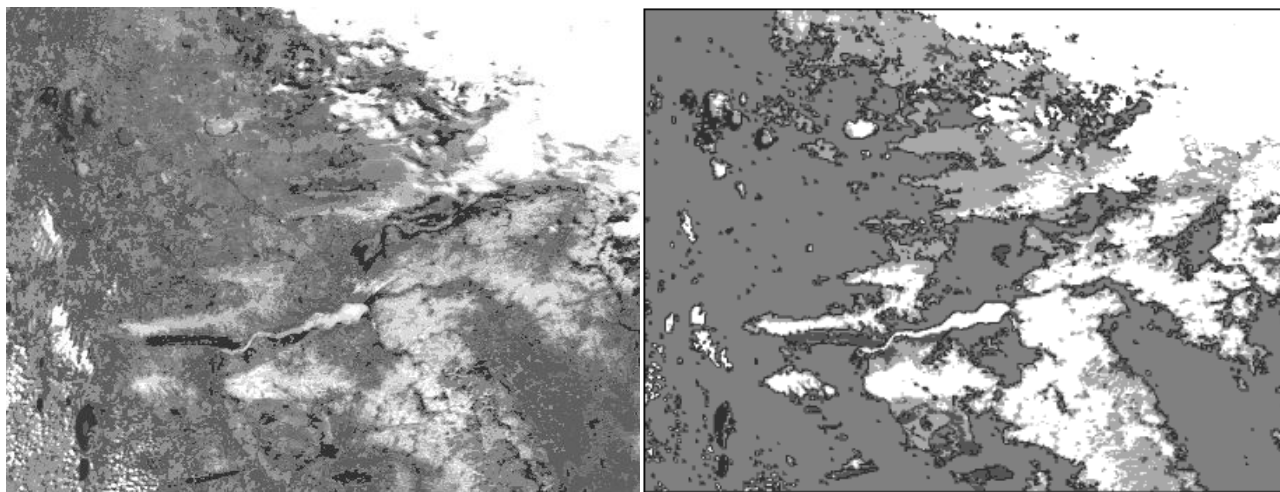


Рис. 1

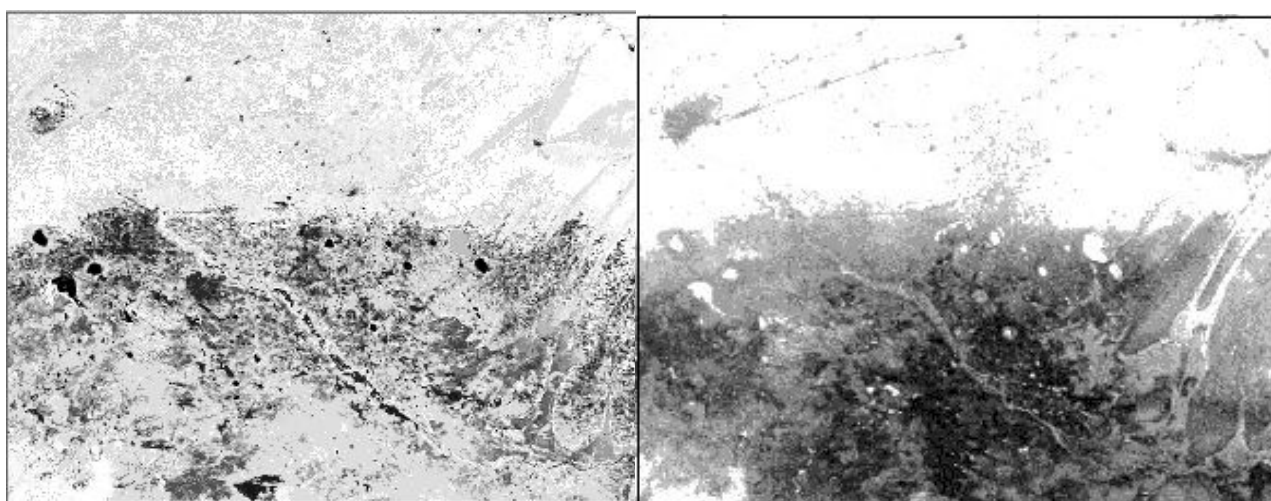


Рис. 2

Распределение яркостей для тающих снегов во всех каналах сходно, в то время как для оттаявшей суши существенно различается. Это, видимо, можно объяснить различной температурой участков и различным распределением излучения для различных диапазонов длин волн принимающих каналов. На рис. 3 представлена кластерная карта пяти-спектрального изображения. Кластеризация проводилась при одинаковом отсечении бит (4) и без сглаживания. Было получено 7539 векторов и 54 кластера. Оконтурирован третий кластер, соответствующий темному пятну на изображениях для пятого и четвертого каналов (рис.2 справа), на RGB-изображении первых трех каналов (рис. 2 слева) не видно соответствующего объекта. Не выделился подобный

кластер и при кластеризации только по трем первым каналам. Таким образом, дополнительные два канала несут новую информацию. Из трех инфракрасных каналов, вклад в спектральную характеристику оконтуренного объекта вносит наиболее коротковолновый, соответствующий температуре. Т.е. объект, видимо, хорошо прогрет. Это участок поверхности Земли южнее Экибастуза.

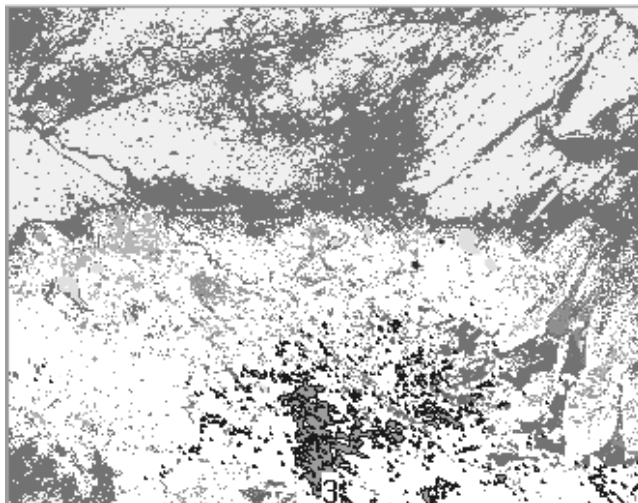


Рис. 3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Remote Sensing.: the Quantitative Approach. Edited by Philip H.Swein and Shirley M.Davis. U.S.A. McGraw-Hill, 1978.
2. В.А. Красиков, В.А.Шамис. Кластерная процедура на базе многомерной гистограммы распределения. Исследование Земли из космоса. N 2,1982, сс.107-114.
3. А.С.Алексеев, В.П.Пяткин, В.С.Сидорова. Комплекс программ анализа изображений (кластерный анализ и сегментация). Препринт N 579. Новосибирск. 1985.
4. В.С.Сидорова. Кластеризация многоспектральных изображений с помощью анализа многомерной гистограммы. Математические и технические проблемы обработки изображений. Вычислительный Центр. Сибирское отделение Академии Наук СССР. Новосибирск. 1986. с. 52-57.
5. В.С.Сидорова. Классификация многоспектральных космических изображений поверхности Земли с помощью разделения многомерной гистограммы по унимодальным кластерам. Труды Международной конференции “Водные проблемы в начале тысячелетия: гидрологические, метеорологические и экологические аспекты”. Казахстан, 2004, с. 51-55.

© В.С. Сидорова, 2005

УДК 551.465.71(265-062.5)

V.I. Kuzin, E.N. Golubeva

ICM&MG SD RAS, Novosibirsk

MODELING OF HYDRODYNAMICAL AND HYDROPHYSICAL PROCESSES IN THE ARAL SEA

Introduction

The problem of the Aral Sea is an example of the ecological hazard caused by the human activities. In the 1960-s the intensification of the Amu-Darya, the Syr-Darya water use for irrigation changed the water balance in the Aral Sea resulting exceeding the evaporation over the precipitation and the river runoff. In 1989 this

caused the separation of the Northern and the Central Aral basins, and in 2000, the connection of the Lazarev, Vozrogdenija islands with mainland and the formation of a single Peninsula which separate the Western (deep) and Eastern (shallow) basins with connection only in the Northern part. As a result, the Aral Sea level height decreased from 53 m to 32.5 m (in the Baltic system), have lost the 80% of water volume and the 60% of sea surface. The salinity increased from 10 to 68-70 g/l thus destroying the fishing industry. The ecological and social consequences are also dramatic. This work is done within the range of the goals of the INTAS Grant 01-0511 – REBASOWS, The research objectives are as follows: the forecasting the future Aral Sea water and salt balance under different scenarios of the water inflow to the Aral coastal zone; the definition of sustainable ecological profile of close water body and selection of the strategy of possible ecosystem, biodiversity and bioproductivity restoration in the part of the Aral Sea.

The possible ways for rehabilitation of the Aral Sea are as follows:

- Reducing up to 70% of the Amu-Darya water amount for irrigation which will increase the Aral Sea level up to 38.5 m (an unrealistic variant);
- The separation of the Western and Eastern parts and keeping only one of them with 20-35% reduction of water for irrigation.

In this paper some results of the numerical modeling of the Aral Sea circulation as well as demineralization during the high-water period 1998 is presented. The 3D model used in the numerical experiment is the Novosibirsk Computing Center (now the ICM&MG) ocean circulation model [1, 2] adapted to the Aral Sea basin.

1. A 3D hydrodynamic model of hydrophysical processes in the Aral Sea

The general features of the models are as follows:

- Mathematical model is based on the complete “primitive” nonlinear equations of the thermo-hydrodynamics of the ocean;
- Temperature and salinity distribution are calculated;
- The model have a possibility to include the calculation of the pollutants;
- The interaction with the atmosphere is realized via the upper mixed layer with the ice formation;
- The model have a possibility to include the open boundaries with inflows and outflows from the basin;
- The numerical technique of the model are based on a combination of the finite element and splitting methods;
- The triangulated quasi-regular B-grid are used;
- The model has two variants of the vertical levels treating: the sigma-coordinate model and z-coordinate model.

2. Data sources

- The climatic meteorological data from for the calculations of the temperature and salinity fluxes;
- Amu-Darya river runoff from the observation for 1998 high water period;
- NCEP/NCAR reanalysis wind for wind-stress calculation.

3. Designing of the experiments and the analysis of the results

The Aral Sea domain for calculation of the 3D currents, thermodynamics as well as spreading of the fresh water as constructed on the basis of the bottom topography produced by CR2 team. The level 32.5 m is set as the initial value for the determination of the basin area. The bottom topography is presented on (Fig.1).

The essential difference in the bottom relief of the Western and Eastern parts of the Aral Sea gives some difficulties in the modeling on the unique version of the vertical grid. The cross-section across the basin along the latitude is presented on Fig.2a. Because of this reason, in the Western Part of the Sea where the maximal value of the depth is 48 m the z-coordinate multilevel model is more preferable. The sigma-coordinate model was used for Eastern Part of the Aral basin with weakly changing depth with maximal value 14 m. Schematic representation of two coordinate systems in the model is shown on the Figs. 2 b, c. Two coordinate systems were connected on the basis of the domain decomposition technology.

The model has horizontal grid with resolution 1000*1000 m, which corresponds to array 172*390 nodes. By the vertical non-uniform grid is used (35 levels for maximal depth). In the regions with minimal depth 2 m, 5 levels are included.

Vertical grid has the levels: $Z=0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47$.

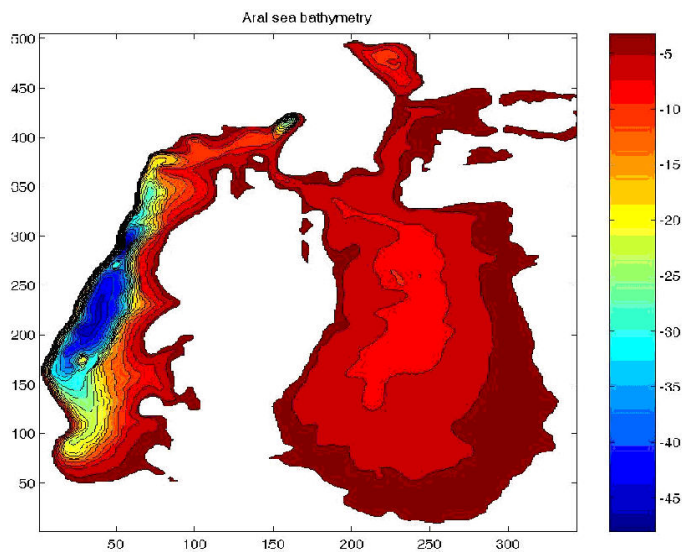


Fig. 1. The levels of height
(the Baltic system) for Aral Sea basin in
meters

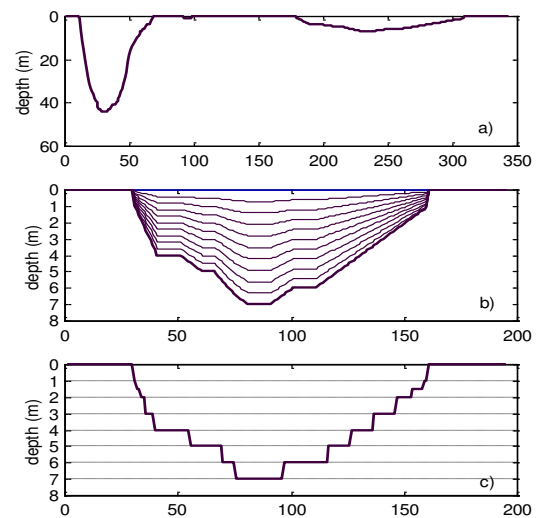


Fig. 2. a) The vertical cross-section of Aral
Sea along latitude; b) Schematic representation
of the sigma-coordinate grid; c) Schematic
representation of the z-grid

4. Numerical experiment description and the results

At the numerical experiment the Aral Sea basin was taken in a total configuration without dam between the Eastern and the Western parts. The Amu-Darya river runoff was directed to the Eastern part as in nature.

At the initial step, we have no spatial distribution of the climatic data at the surface. So, the constant values of the temperature (25°C) and salinity (68 g/l)

corresponding to the summer season were set in a hole basin. The integration of the model was carried out during the period of about two years 1998-1999 containing the high-water period of May-September 1988 with the wind-stress produced from the NCEP/NCAR wind. The ice sea model includes only the thermodynamic part without dynamics, reology and drift of ice. One hour was taken as the time step in the model. On each time step, the following 3D hydrophysical fields were calculated: temperature, salinity, velocity, fresh water as a tracer.

The results of the numerical experiment allow as obtaining some specific features of the Aral Sea circulation, thermodynamics and fresh water spreading.

The circulation

The circulation in the Aral Sea basin is highly varying and although there are no strongly dominated pictures of the main circulation, it is possible to separate some specific features. First, the circulation is very sensitive to the wind and is mainly derived by the wind, except a short period of the ice covering the sea surface. The Eastern part is very shallow and has the fastest feedback to the wind change. Wide area of the Eastern part allows a well-manifested cyclonic (Fig. 3) or anticyclonic circulation to be formed. The transition period between them is characterized by the dipole circulation (Fig. 4). The Western basin is more narrow and deep. So, the circulation consists of more local gyres, but the feedback to the wind change is slower than this of the Eastern one. The circulation variations during the seasons of the integration period may roughly be described in the following way. In the summer of the integration period in the Eastern part there was a cyclonic circulation. In Fig. 3 velocity field at a depth of 2 m is presented. The velocity value reaches 30 cm/s. The circulation in the Eastern basin is cyclonic in the South and anticyclonic in the North. There also exist some local circulations caused by the bottom topography and the basin configuration. In autumn the circulation in the Eastern basin becomes anticyclonic via the dipole circulation, what is presented in Fig. 4. During the winter period, when the wind is blocked by the ice cover this circulation is weakening, until the ice cover disappears. In spring, the reconstruction of the circulation in some periods leads to the chaotic enough circulation certain periods, becoming sufficiently stable by May.

The thermodynamics

The seasonal variations of the Aral Sea are influenced by the seasonal cycle, but the processes of the seasonal variations in the Western and the Eastern parts are different. In the Eastern part, the temperature is determined by the processes of heating and cooling on the surface and mixing by wind. This brings about to the homogeneous distribution of the temperature in the Eastern part within the range from 27°C to 0°C. In contrast to this, the result of the calculations shows that the thermal conditions of the Western part of the Aral Sea, determined by the seasonal cycle are divided into two main states: summer stratification and winter homothermy. The summer distribution has the stratification in the temperature about 20 degrees, with strong well manifested thermocline. The horizontal distribution is characterized by the lower temperature values in the western deep part and higher values in the eastern part. The cooling in the autumn and the winter seasons results in the density convection and to the homothermy.

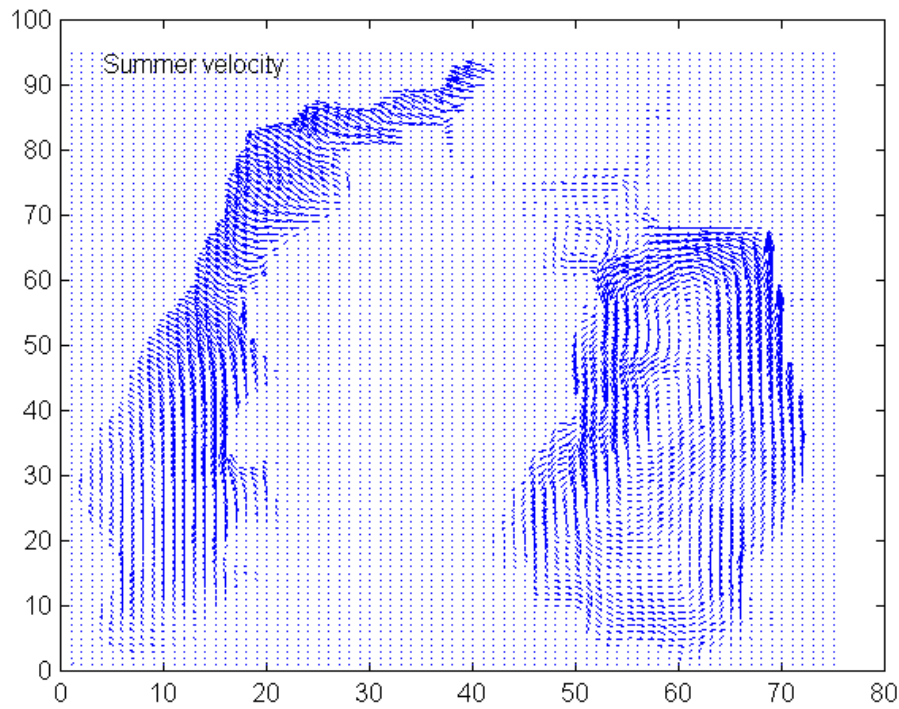


Fig. 3. Velocity field at depth 2 m. June

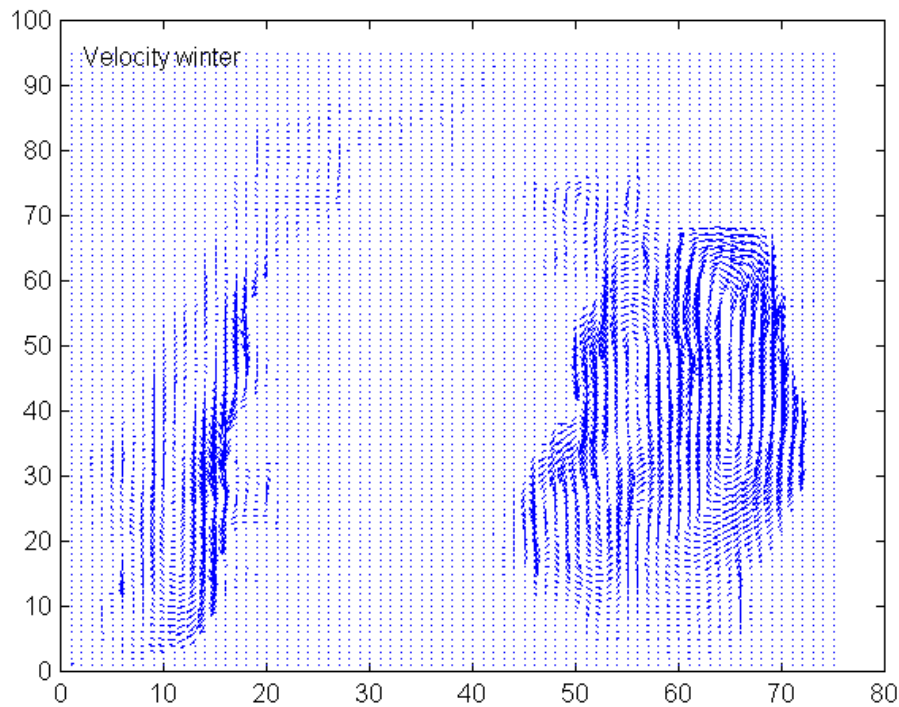


Fig. 4. Velocity field at depth 2 m. December

The salinity distribution and the fresh water propagation

The salinity conditions during the integration period are defined by the Amu-Darya inflow during May-September, 1998. In this period, the river inflow was extremely high. The pictures present the propagation of the fresh water through the Eastern basin. In Fig. 5 the horizontal pictures of the refreshing are presented. After

the river inflow stops, the horizontal distribution becomes nearly uniform, but the salinity is lower than at the initial moment. One can see a well-manifested movement of the low saline water from the South to the North. The pool of the freshened water has a tendency to turn to the East under the influence of the circulation. The freshened water reaches the narrow straight between the Eastern and the Western basins and propagates to the Northern part of the Eastern basin.

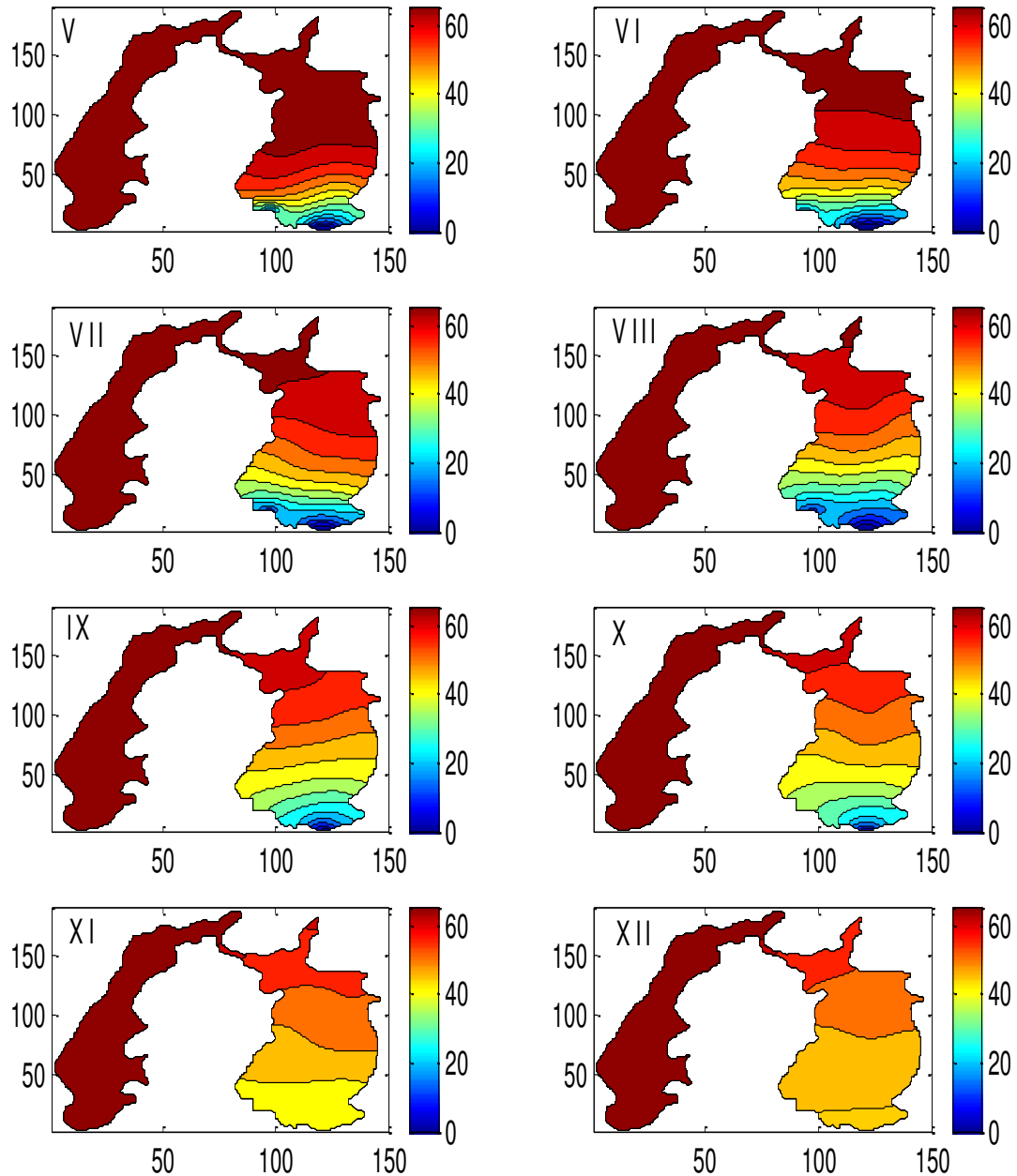


Fig. 5. Desalinization of the Aral Sea during the period of V-IX 1998 – high Amu-Darya inflow and X-XII 1998 – low Amu-Darya inflow

Acknowledgements

This work was supported by INTAS Grant 01-0511. The authors wish thank to Dr. Sergey Stanichny for the help in the preparing the data.

REFERENCES

1. V.I. Kuzin. Finite Element Method in the modeling of the ocean processes. NCC Publisher, Novosibirsk, P.190.
2. E.N. Golubeva, Ju.A. Ivanov, V.I. Kuzin, G.A. Platov. Numerical modeling of the World Ocean circulation including upper ocean mixed layer. // Oceanology. – 1992. – Vol. 32. – No 3. – P. 395-405.

© V.I. Kuzin, E.N. Golubeva, 2005

УДК 528.88

В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин

ЮНИИ ИТ, Ханты-Мансийск

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И МОДЕЛИ БИОПРОДУКТИВНОСТИ

При государственном управлении сельскохозяйственным производством особую актуальность имеет задача поэтапной оценки и уточнения урожайности зерновых культур и валовых сборов, как в разрезе отдельных хозяйств, так и на уровне административных районов субъектов РФ, как в условиях нормального воспроизводства, так и в условиях стихийных бедствий. Данная ситуация осложняется ухудшением экологического состояния земель и существенными нарушениями агротехники возделывания, приводящие к уменьшению продуктивности сельскохозяйственных культур.

Полноценный мониторинг сельскохозяйственных культур для достижения практически значимых результатов (прогнозирование урожайности, засух, анализ причин снижения продуктивности, изменения экологической ситуации) требует сбора большого объема данных для построения моделей, которые можно применить для достижения результатов, что не всегда возможно. Значения исходных параметров контроля изменяются не только в пространстве, но и во времени.

В этой связи становится актуальным вопрос применения данных дистанционного зондирования для мониторинга состояния сельскохозяйственных посевов и их применение в качестве дополнительных характеристик в имитационной модели биопродуктивности. Использование данных дистанционного зондирования позволяет повысить точность измерения биометрических показателей и предоставляет возможность провести интерполирование значений показателей на территории, не охваченные наземными измерениями. Методика использования данных ДЗЗ для сканеров МСУ-СК, МСУ-Э спутника Ресурс-01№3 и AVHRR спутников NOAA-12,14,15,16 и модели биопродуктивности для оценки урожайности яровой пшеницы на территории Алтайского края описана в [1-3].

Исходя из выше сказанного, перед авторами была поставлена задача перенести данную методику на территорию Тюменской области с применением данных со сканеров МСУ-Э спутника METEOP-3М и MODIS спутника TERRA принимаемых в Центре ДЗЗ ЮНИИ ИТ.

Модель биопродуктивности

Как отмечалось в [4], в настоящее время предметом особого внимания в изучении и оценке агроклиматических ресурсов и агроклиматического

потенциала территорий становятся различные имитационные модели биопродуктивности. Для оценки урожайности зерновых культур была использована модель биопродуктивности EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator), разработанной Dr. Williams.

EPIC является непрерывной имитационной моделью, которая может использоваться для определения стратегий управления в сельском хозяйстве, расчета изменений почвенных и водных ресурсов. Данная модель позволяет вычислять основные параметры культуры (биомассу, листовой индекс, высоту растения и др.) на каждый день, что позволяет сравнивать с данными наземных измерений и дистанционного зондирования и, в случае необходимости, вносить корректировки в процесс моделирования. Для расчетов по южной части Тюменской области был использован двухкомпонентный вариант модели с расчетом влагообмена в почве, так как существенными параметрами для процесса моделирования являются сроки сева, начальный влагозапас и гидрологические параметры почвы. В тоже время такие параметры, как содержание минеральных веществ и процент гумуса являются менее существенными.

В модели EPIC потенциальное изменение в сухой биомассе (ΔB_p) зависит от листового индекса (LAI) и солнечной радиации (RA):

$$\Delta B_p = 0.0005 \cdot BE \cdot RA \cdot (1 - e^{-0.65 \cdot LAI})$$

где BE – коэффициент преобразования энергии к биомассе

Реальное ежедневное приращение биомассы корректируется коэффициентом стресса (REG), который определяется как минимальная величина из водного, температурного и азотного стрессов.

Моделирование приращения листового индекса (LAI) разделено на два этапа: от появления листьев до начала увядания и от начала увядания до конца сельскохозяйственного сезона. Листовой индекс рассчитывается исходя из максимального листового индекса, текущего листового индекса и накопления суммы эффективных температур.

Урожайность зерна (YLD) рассчитывается пропорционально итоговой сухой биомассе: $YLD = HI \cdot \max(BIOM)$, где HI – индекс урожайности.

Для расчета водного и азотного стрессов используется моделирование влагопереноса по слоям почвы, при этом учитывается таяние снега, испарение из почвы и растения, использование влаги растением.

Моделирование урожайности на территории Тюменской области с использованием космических изображений

Сканер MODIS, установленный на спутнике TERRA, имеет полосу захвата 2330 км, 36 спектральных каналов в интервале от 0.4 до 14.38 мкм. Пространственное разрешение в каналах 1 и 2 равно 250 м, в каналах с 3 по 7 – 500 метров, в остальных – 1000м.

По орбитальным изображениям MODIS вычислялся нормализованный вегетационный индекс (NDVI), позволяющий уменьшить влияние условий съемки в разное время суток:

$$NDVI = (L2 - L1) / (L2 + L1),$$

где L1 и L2 – яркости 1 и 2 каналов сканера MODIS.

Ранее, в результате многочисленных экспериментов [3] было показано, что значения NDVI хорошо коррелируют с такими характеристиками растительного покрова, как индекс площади листьев (LAI), коэффициент вегетационного покрытия и зеленая биомасса (чистая первичная продуктивность). С увеличением значений перечисленных параметров растут и значения NDVI, но зависимость эта линейна только в определенном интервале. Уже при содержании хлорофилла выше 3-5 мг/см² и листовом индексе выше 4-5 наблюдается эффект насыщения NDVI.

Безразмерный вегетационный индекс LAI линейно связан с биомассой зеленой растительности. Листовой индекс определяется как отношение площади листьев растений к площади земли, занимаемой растениями.

Для контуров тестовых полей вычислялся листовой индекс LAI с использованием кусочно-линейной зависимости, предложенной авторами алгоритма MOD15 (NASA) для обработки изображений MODIS. Динамика изменения листового индекса для Ишимского района Тюменской области представлена на рис. 1.



Рис. 1. Динамика изменения листового индекса яровой пшеницы (отношение площади листьев растений к площади земли, занимаемой растением) по эталонным полям в период наблюдений с 14.05 по 18.07.2004г.

В связи с тем, что поля в Тюменской области имеют небольшой размер и сложноструктурные контуры, а сканер MODIS имеет низкое пространственное разрешение, для уточнения границ использовался сканер МСУ-Э с пространственным разрешением 32 м на пиксель.

Для каждого административного района Тюменской области с имеющейся метеостанцией было произведено моделирование развития зерновых культур (яровая пшеница, ячмень, овес, горох). На этом этапе произведен подбор параметров модели для каждого района (определялись усредненные сроки сева

и почвенные характеристики модели) и общие для всех районов варьируемые характеристики (индекс урожайности и параметры функции dLAI).

Результаты моделирования развития яровой пшеницы по 10 метеостанциям в зависимости от сроков сева представлены на рис. 2.

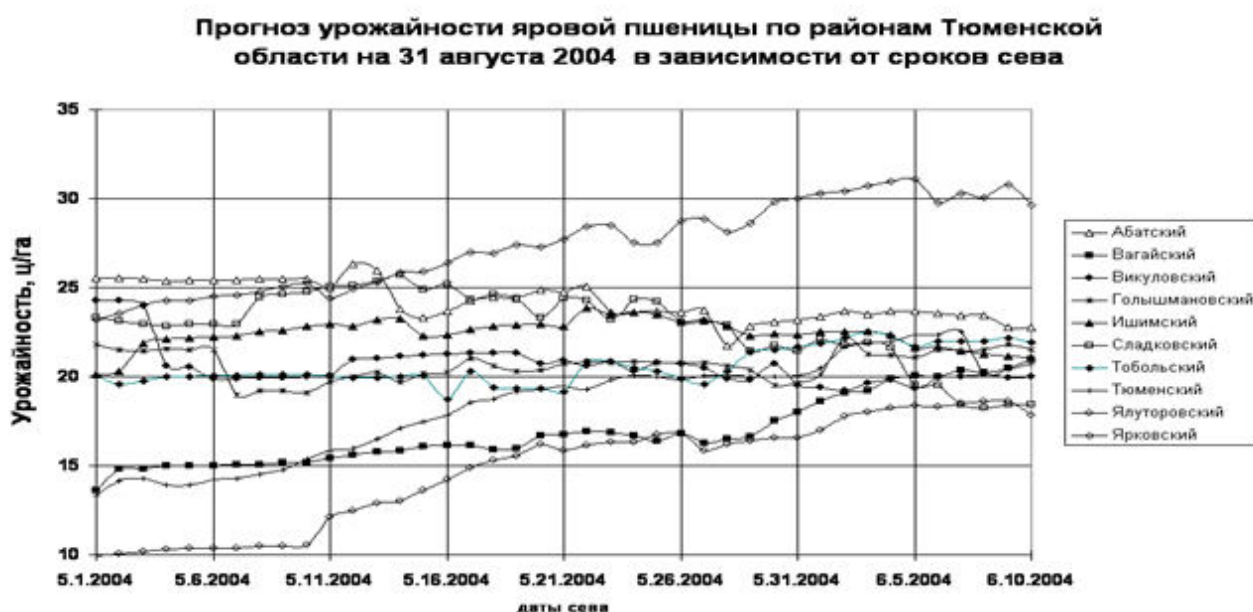


Рис. 2. Прогноз урожайности яровой пшеницы по районам Тюменской области на 31 августа в зависимости от сроков сева

Определение даты начала уборки проводилось по двум критериям: по прекращению наращивания биомассы и по падению листового индекса до нуля.

На рис. 3 представлена сравнительная динамика прогнозируемой и фактической урожайности по Тюменской области в целом. Как видно из графика погрешность расчетов не превышает 1 га.

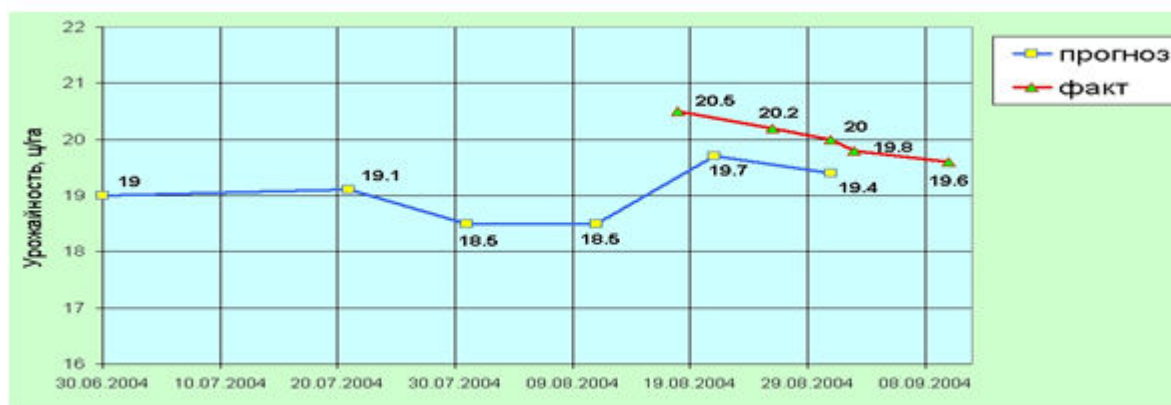


Рис 3. Динамика прогнозируемой и фактической урожайности по Тюменской области за 2004 г.

Поскольку в Тюменской области имеется недостаточная густота сети метеостанций, проводилась коррекция листового индекса с использованием зависимости LAI от NDVI по данным сканера MODIS. Так, для семеноводческого хозяйства СПК «Емуртлинское» Омутинского района Тюменской области при коррекции модели EPIC по спутниковой оценке

листового индекса урожайность составила 46 ц/га (рис. 4). Что подтверждается данными статотчетности.

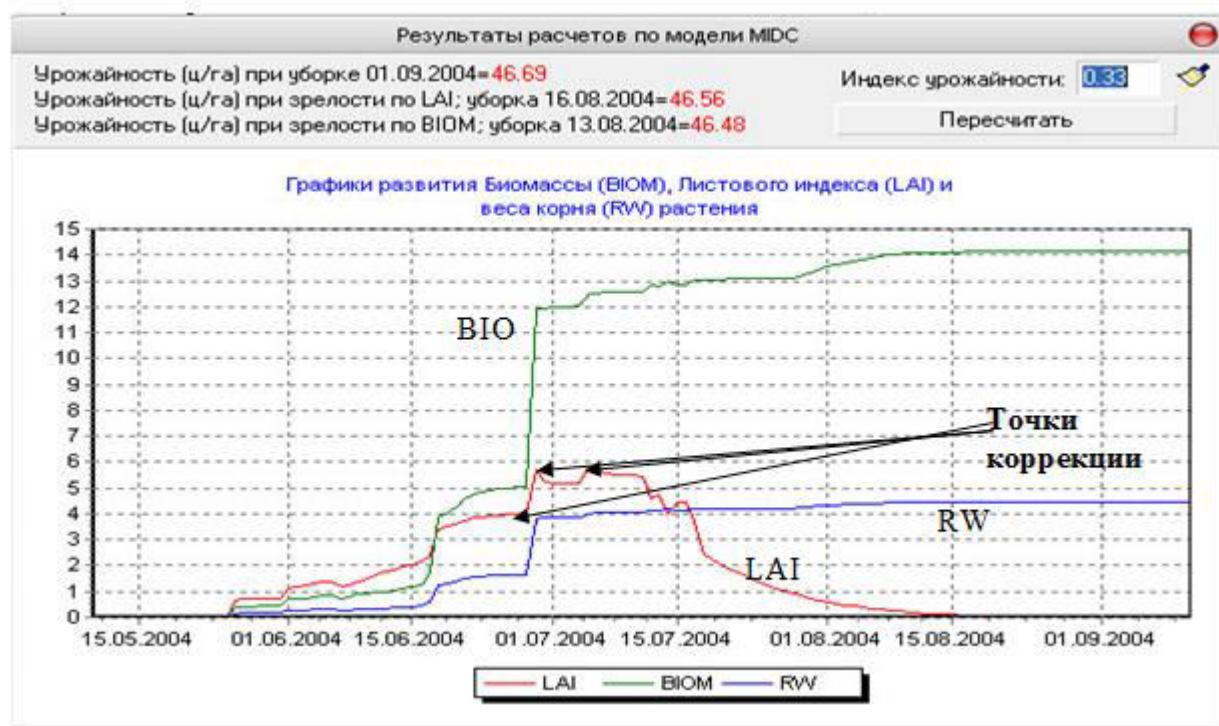


Рис. 4. Результаты расчётов по СПК «Емуртлинское» с коррекцией листового индекса

Исходя из выше сказанного, интеграция наземных измерений биометрических параметров растительности, метеоданных, значений статистической урожайности и сканерных космических изображений в единую систему позволяет производить экспорт данных в модель биопродуктивности и последующий анализ результатов. Использование методологии моделирования биопродуктивности по модели EPIC совместно с данными дистанционного зондирования повышает точность расчета урожайности основных сельскохозяйственных культур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евтюшкин А.В., Юшаков В.Н. Разработка элементов технологии мониторинга зерновых культур в Алтайском крае // Труды Международной конференции "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг". Ханты-Мансийск. 2001. С. 154 - 158.
2. Евтюшкин А.В., Юшаков В.Н., Рычкова Н.В. Использование данных дистанционного зондирования для распознавания зерновых культур и коррекции моделей биопродуктивности // Известия Алтайского государственного университета. № 1(23). 2002. С. 63 - 67.
3. Евтюшкин А.В., Рычкова Н.В. Изучение динамики вегетационного индекса сельскохозяйственной зоны Западной Сибири по данным NOAA и подспутниковых полигонных измерений // Информационные технологии и космический мониторинг: Материалы 3-й научно-практической конференции «Электронная Россия», Ханты-Мансийск, 2004 г. - Екатеринбург: «Издательство Баско», 2004. - 80.: ил. С. 54 - 61.

4. Хворова Л.А., Брыксин В.М. Применение математических методов и математического моделирования для оценки агроклиматического потенциала территорий // Известия Алтайского государственного университета. № 1(23). 2002. С. 41 - 45.

© В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин, 2005

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЖАРОВ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Несмотря на предпринимаемые меры по охране лесов и своевременную подготовку к пожароопасному сезону, ущербы, наносимые лесными пожарами, с каждым годом растут. По данным агентства лесного хозяйства ХМАО, в пожароопасный период 2004 года в округе было зарегистрировано рекордное за последние десять лет количество лесных пожаров - 1054 общей площадью более 71,3 тыс. га [1]. При этом суммарный ущерб от лесных пожаров на территории Югры составил более 4 млрд. рублей. Отсутствие эффективных технологий управления деятельностью лесоохраны с использованием оперативной эколого-экономической оценки лесных пожаров не позволяет создать действенную систему поддержки принятия решений при возникновении возгораний в лесном комплексе. Эколого-экономическая оценка проводится в настоящее время на экспертном уровне, когда уже точно известны размеры выгоревших лесных массивов. Поэтому оценить масштабы и последствия сразу же после обнаружения очага возгорания затруднительно вследствие задержки сбора всей информации о выгоревших участках леса. Для получения оперативной эколого-экономической оценки необходимо использовать материалы космической съемки.

В связи с этим целью данной работы является изложение опыта по обнаружению точек вероятного возгорания по космическим снимкам, с использованием средств геоинформационных технологий для выявления и оценки динамики пожароопасной обстановки на примере природного парка «Сибирские Увалы» (рис. 1).

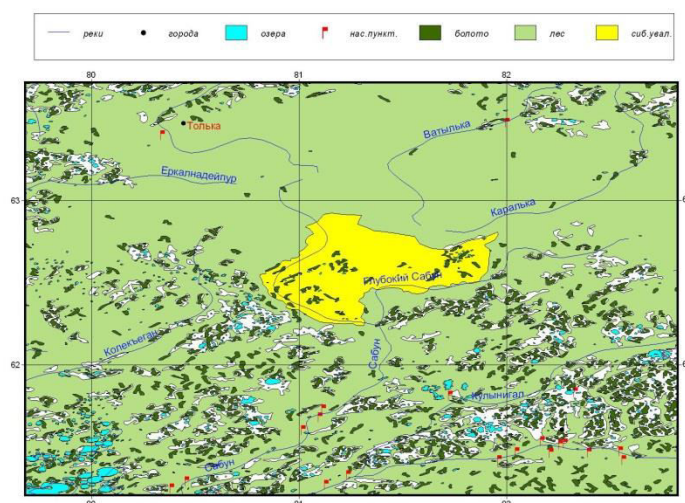


Рис. 1. Картограмма расположения Сибирских Увалов разработанная в программной оболочке ГИС ArcView

На рис. 2 представлена схема функционирования информационно-программного комплекса, предназначенного для обнаружения лесных пожаров с

использованием космической съемки. Комплекс включает программно-алгоритмические и технические средства, позволяющие обнаружить очаги возгорания в лесных массивах, оценить площади выгоревших участков и провести оценку последствий лесного пожара с учетом пород выгоревших деревьев согласно данным лесотаксационных карт.

Важной составляющей информационно-программного комплекса является комплекс обнаружения очагов пожаров. От точности и корректности получения результатов напрямую зависит в дальнейшем правильность рассчитанной оценки ущерба от лесного пожара. Наиболее критичными характеристиками являются радиометрическая разрешающая способность бортовой съемочной аппаратуры, точность географической привязки принятой информации и отсутствие на изображении облачности [2]. От радиометрической разрешающей способности, характеризующейся шириной динамического диапазона используемого датчика, зависит вероятность обнаружения точки возгорания. Чем больше градаций при переходе от абсолютно «белого» к абсолютно «черному» элементу, тем с большей вероятностью можно обнаружить на подстилающей поверхности аномальный по температуре участок.

Таким образом, разрешающая способность бортовой аппаратуры накладывает определенные ограничения на размер наблюдаемого элемента на поверхности Земли. Для расчета размера элемента, наблюдение которого возможно с использованием определенной съемочной аппаратуры, существует соотношение

$$I_{\text{об}} \times \left(\frac{S}{R^2} \right) > \Delta I,$$

где $I_{\text{об}}$ – яркость объекта, ΔI – количество градаций яркости, S – площадь объекта, R – пространственное разрешение.



Рис. 2. Схема функционирования информационно-программного комплекса обнаружения лесных пожаров

Обнаружение мест вероятного возгорания осуществляется алгоритмом MOD14 (NASA) на основе обработки информации ИК-диапазона (датчик MODIS космического аппарата TERRA). Проведенные в течение пожароопасного сезона 2004 года работы по обнаружению очагов пожара подтвердили достаточно хорошую распознаваемость пожаров алгоритмом. Минимальный размер обнаруженной тепловой аномалии на поверхности Земли составляет 30х30 метров (рис. 3).

Разработанный комплекс функционирует в двух режимах: интерактивном либо полностью автоматическом режиме и может предоставлять результат как графически, в виде карт, так и в табличном виде. В программном обеспечении комплекса предусматривается использование наиболее эффективных отечественных и зарубежных программно-алгоритмических средств обнаружения очагов лесных пожаров, позволяющих исключать с высокой степенью надежности ложные отклики.

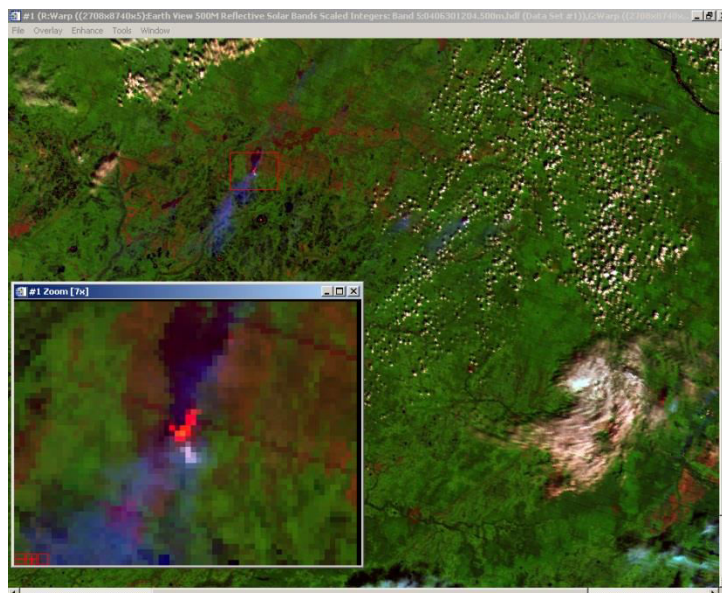


Рис. 3. Геопривязанный снимок с космического аппарата TERRA с возможной оценкой визуального определения попиксельно площади пожара в левом нижнем углу, обнаруженному по алгоритму MOD14 (NASA)

Обработанная информация космоснимков служит основой для совмещения ее с квартальной сеткой лесов (рис. 4), для получения координат горимости участка по кварталам, такая информация послужит для своевременного принятия мер по ликвидации пожароопасной ситуации на данном участке.

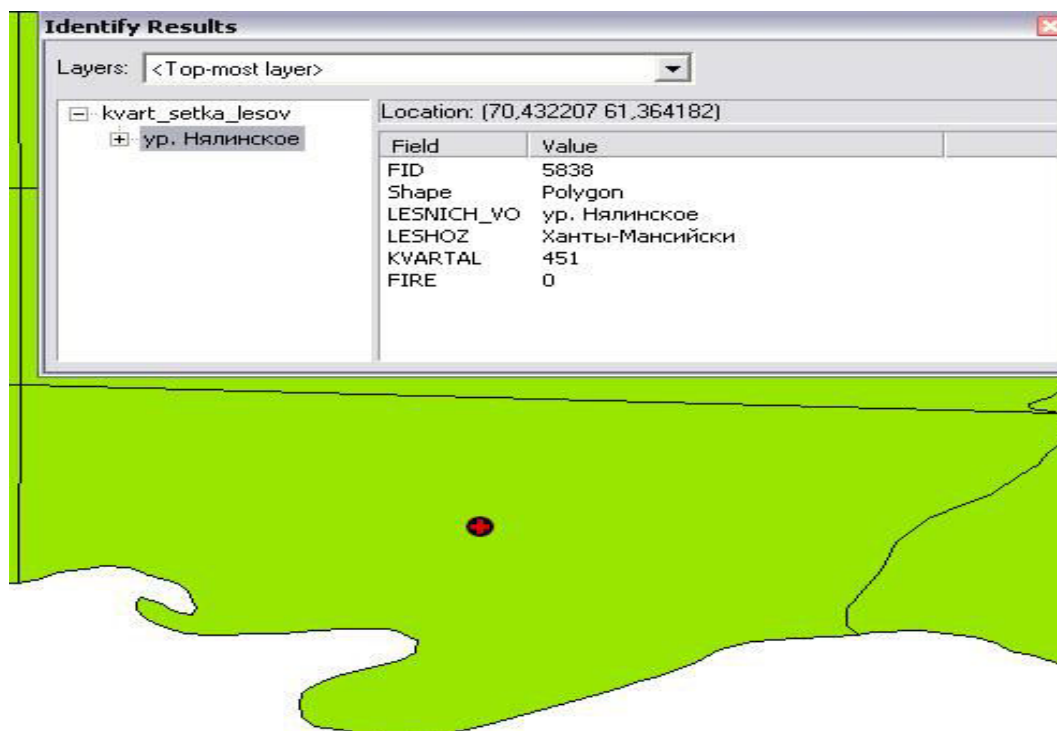


Рис. 4. Наложение пожаров на квартальную сетку лесов и их выделение по кварталам

Для принятия решения в управлении деятельности лесоохраны необходима комплексная оценка чрезвычайной ситуации, которая достигается путем включения всех этапов информационно-программного комплекса для увеличения процента достоверности, при проверке ее на местности.

Практика показала, что наиболее важным блоком считается использование вспомогательной информации, включая информацию заказную, снимки более высокого разрешения (Landsat), таксационные карты растительности и почв, проведение полевых исследований, климатические характеристики. Важно также учитывать возможности съемочной аппаратуры, известно, что космическая аппаратура TERRA – NOAA не может обеспечить съемку местности в облачную погоду, поэтому важно учитывать услуги и зарубежных стран, как например, использование радарных изображений, развивать межнациональное сотрудничество, что иногда не только полезно, но и выгодно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесные пожары в России (информационно-аналитический сайт) (<http://fire.nad.ru/>)
2. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России: Аналит. обзор / Под ред. В.В. Белова. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2003. – 135

© В.А. Хамедов, Н.А. Петрова, 2005

УДК 551.465

Г.А. Платов, Е.Н. Голубева

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ВОД ЯПОНСКОГО МОРЯ

Схема циркуляции Японского моря имеет много сходств с основными чертами глобальной циркуляции океанов. Это включает в себя циклонический и антициклонический круговороты, западное пограничное течение, его отрыв от береговой линии, а также формирование глубинных однородных водных масс [1]. Кроме того, имеют место такие динамические проявления как ветровая и термохалинная циркуляции, глубокая конвекция и множество мезомасштабных вихрей.

Циркуляция Японского моря во многом формируется под влиянием Тихого океана, поставляющего свои воды на входе Цусимского пролива и обеспечивающего выток через восточные проливы – Сангарский и Лаперуза. Несмотря на то, что эти проливы мелководны (менее 200 м), они играют существенную роль в формировании не только поверхностной циркуляции, но и циркуляции промежуточных и глубинных вод.

В Японском море ярко представлены субтропическая и субполярная циркуляции, разделённые между собой субполярным фронтом, аналогичным таковому в открытом океане. Тёплое Цусимское течение несёт более солёные воды из Восточно-китайского моря через Цусимский пролив. Как известно, этот поток разделяется на три основных ветви сразу после входа в бассейн Японского моря, образуя прибрежную ветвь, теплое восточно-корейское течение и промежуточную ветвь. Восточно-корейское течение является аналогом западного пограничного течения субтропического круговорота [2].

Противоположность южного субтропического круговорота составляют Лиманское и Северокорейское холодные течения, несущие свои воды в южном и юго-западном направлении вдоль берегов Приморья и Северной Кореи. Обе системы течений контактируют друг с другом вблизи $38-40^{\circ}$ с. ш. к западу от линии 132° в. д. и, благодаря генерации большого количества мезомасштабных вихрей, интенсивно перемешиваются друг с другом.

Образовавшаяся смесь перемещается в восточном направлении вдоль субполярного фронта (СПФ) приблизительно вдоль широты 40° вплоть до Сангарского пролива. СПФ, таким образом, разделяет бассейн Японского моря на две части: южную, в основном находящуюся под влиянием ответвлений Цусимского течения и северную, представляющую собой циклонический круговорот. Воды, составляющие СПФ, частично вытекают из Японского моря в Тихий океан через Сангарский пролив, тогда как оставшаяся часть устремляется на север, поставляя более тёплые и солёные воды в систему северного круговорота. Двигаясь далее на запад вдоль линии широты 42° , эти воды формируют тёплый и солёный пояс вдоль приморского побережья вплоть до 131° в. д. Эти воды текут параллельно с вдольбереговым, шельфовым холодным Лиманским течением на расстоянии 50-100 км от берега, постепенно охлаждаясь в процессе их взаимодействия с прибрежными водами. Согласно [3], именно в процессе охлаждения этих водных масс на протяжении всего пути от Хоккайдо до залива Петра Великого формируются промежуточные воды Японского моря. В своей работе мы собираемся проследить дальнейшее распространение этих вод в подповерхностном слое по всей акватории Японского моря и их роль в формировании глубинных вод.

Сенджю и Судо в работах [4, 5] обнаружили в районе котловины Улунг некоторую неоднородность в вертикальном распределении потенциальной температуры и концентрации растворённого кислорода. Водная масса, расположенная в слое 200-400 м ниже Цусимского течения, формирует в этом слое минимум солёности (менее 34,06 промилле) и называется промежуточными водами Японского моря (ПВЯМ). Для этой водной массы характерна повышенная концентрация кислорода, что указывает на то, что эти воды были сформированы вблизи поверхности и проникли вниз благодаря зимней конвекции к северу от СПФ.

Данные GDEM анализ водных масс

Набор данных GDEM [6], включающий в себя среднемесячные поля температуры и солёности, был получен в результате осреднения многолетнего ряда измерений для каждого из 12-ти месяцев. Первоначальным источником этих данных является архив MOODS (Master Oceanographic Observation Data Set), включающий в себя около 7 миллионов наблюдений по всему миру.

В данной работе нами предпринимается попытка на основе данных GDEM проанализировать общую структуру вод Японского моря и в частности заострить особое внимание на проблеме распространения ПВЯМ. Свой анализ мы будем основывать на температурно-солёностной структуре вод. На рис. 1 в виде изолиний, показанных в логарифмической шкале, представлен объём воды Японского моря, как функция температуры и солёности для январского

распределения. Наиболее характерные водные массы могут быть обнаружены с помощью данной диаграммы как локальные максимумы или ответвления от средней массы. Как только выделены специфические типы водных масс, можно, обратившись снова к исходным данным, выявить географическое положение районов, содержащих наиболее значимые объёмы этих вод.

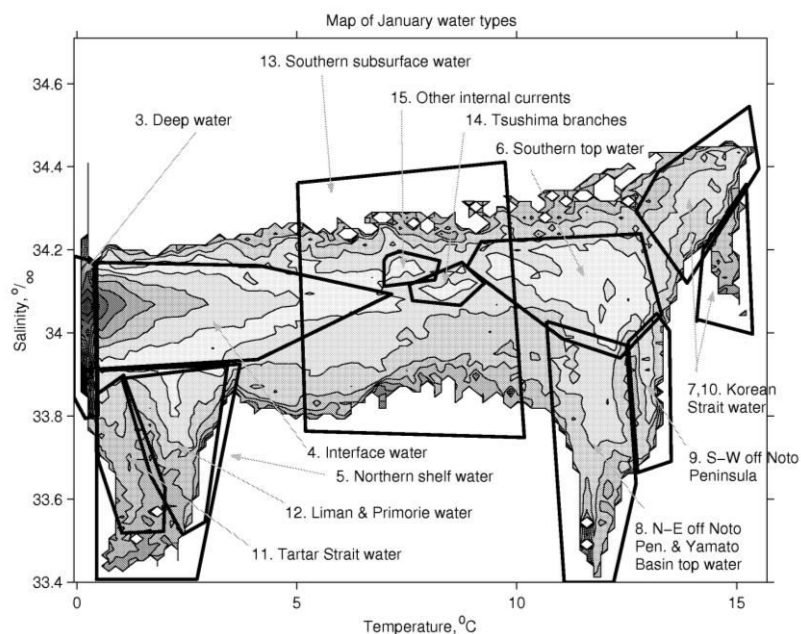


Рис. 1. T/S диаграмма основных типов вод Японского моря

На рис. 1 с помощью сплошных контуров выделено несколько наиболее ярких типов вод, а именно:

- Вода, поступающая через Цусимский пролив. Она более тёплая и более солёная, однако, включает в себя также более пресную фракцию, которая происходит, вероятно, от интенсивного речного и прочего стоков с Корейского полуострова и Японских островов. Этот тип воды отмечен на диаграмме метками 7 и 10.

- Другим источником поверхностных вод в южной части моря является район, прилегающий к полуострову Ното. Два языка на диаграмме рисунка 1, помеченные цифрами 8 и 9, соответствуют этому типу вод и в тоже время заметно разделены между собой. Географически они также разделены полуостровом Ното и прилегающей отмелью, препятствующими свободному обмену свойствами между водами к востоку и к западу от них.

- Смешиваясь между собой и с низлежащими слоями, оба предыдущих типа формируют тип вод южной части Японского моря, отмеченный на рис. 1 номером 6.

- Непосредственно под этими водами формируются промежуточные подповерхностные воды (номер 13) и их наиболее примечательные фрагменты, отмеченные номерами 14 и 15, приходятся на ответвления Цусимского течения, географически точно повторяя их траектории.

– Ещё один важный источник более свежей и холодной воды (номер 5) расположен в северной мелководной части Японского моря. Его можно подразделить на два примыкающих друг к другу района. Первый расположен вблизи Татарского пролива (11), а второй совпадает с местоположением Лиманского и Приморского течений (12). Малая солёность этих вод является следствием поступления через Татарский пролив сточных вод реки Амур, а также талых и стоковых вод самого Приморья.

– Все предыдущие воды расположены поверх и делают свой вклад в формирование промежуточных вод Японского моря (номер 4) изучению которых мы уделим больше внимания.

– Глубинные воды, отмеченные номером 3, занимают наибольший объём и по своим свойствам более близки к 5-му типу вод, однако более солёные. Можно предположить, что эти воды сформированы в результате перемешивания холодных северных вод с более солёными южными, в ходе чего образуется более плотная вода, способная за счёт конвекции или даунвеллинга вдоль шельфового склона достигать значительных глубин. Однако однозначного ответа на вопрос о происхождении этих вод до сих пор не существует.

Промежуточные воды Японского моря

Исходя из вертикальных сечений поля солёности и температуры в районах характерного положения ПВЯМ выявленных в [4, 5], эту воду можно охарактеризовать как воду с солёностью менее 34,06 промилле и с температурой от 0.5 до 1.5 градусов. Нами был изучен сезонный ход толщины слоя этих вод, и удалось выявить три основных траектории распространения этих вод от района их зарождения вблизи залива Петра Великого (Владивосток).

Первое направление распространения характерно для осенне-зимнего сезона, начиная с сентября по март, что составляет 7 месяцев. ПВЯМ, зародившись в районе залива Петра Великого, приходят в контакт с Цусимскими водами в районе СПФ, где в результате конвекции опускаются до глубины порядка 600 м. Здесь они подхватываются топографическим течением подводного поднятия Ямато и устремляются в район котловины Ямато, расположенной юго-восточнее этого поднятия и в непосредственной близости от берегов Японии (рис. 2а). В апреле аномалия ПВЯМ в этом районе в основном деградирует, однако присутствие ПВЯМ здесь отмечается, хотя и в гораздо меньших количествах, в течение всего года.

Начиная с января, большая часть промежуточных вод устремляется от залива Петра Великого непосредственно на юг в район котловины Улунг. Это именно та ветвь распространения ПВЯМ, отмеченная в работе [4,5] как основная (рис. 2б). Между тем, согласно проведенному нами анализу, это направление поддерживается в течение только 5 месяцев с января по май. Дальнейшее присутствие этих вод в данном районе географически не связано с районами их формирования и поэтому является остаточным. Решающую роль в формировании этого направления, вероятно, играет муссонная активность в заливе Петра Великого в течение зимнего периода и формирование в этом районе биполярного поля вихря. Конвекция в это время года уже не столь активна,

поэтому глубина, на которой эти воды распространяются на юг, составляет около 200-300 м.

В июне-июле конвективное перемешивание практически отсутствует и как следствие ПВЯМ концентрируются в основном у поверхности и переносятся поверхностным течением субполярного фронта на восток (рис. 2в). Параллельно с этим происходит вовлечение новой порции более солёных и тёплых вод в систему северного круговорота представленного на рисунке 2в в виде солёностного языка, вытянутого от берега Хоккайдо вдоль линии 440 с. ш. и далее на юго-запад до 1340 в. д. Взаимодействие этих вод с шельфовыми водами приводит к дополнительной генерации вод типа ПВЯМ. К концу июля замыкается их кругооборот в рамках северной ячейки циркуляции и результате в августе-сентябре вся северная ячейка заполняется водами этого типа. С наступлением осенних холодов снова формируется глубокая конвекция и происходит «прорыв» потока этих вод на юг в районе поднятия Ямато.

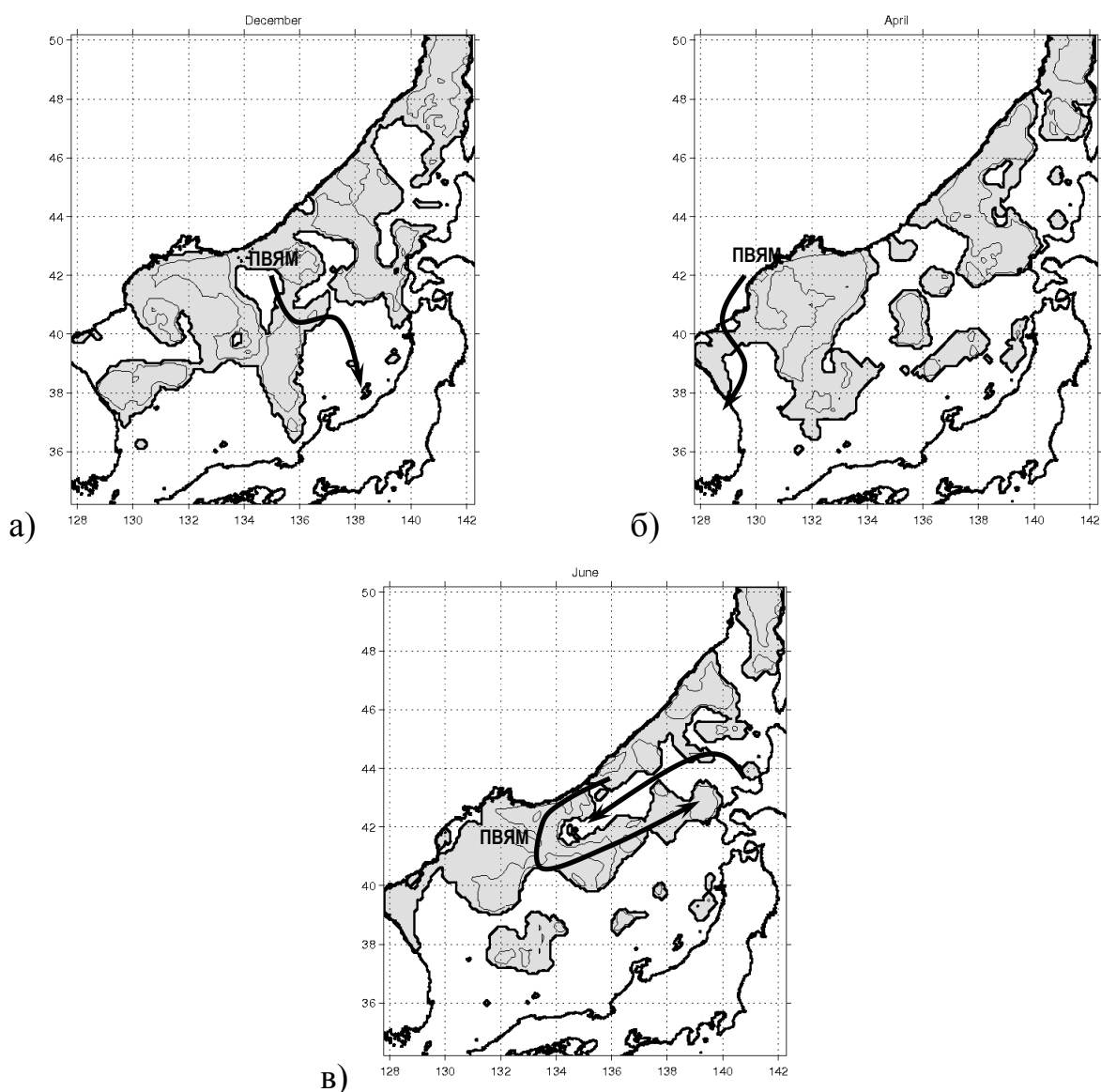


Рис. 2. Три основных направления распространения ПВЯМ:

а) юго-восточное – котловина Ямато, б) южное – котловина Улунг, в) восточное

Таким образом, на основе анализа данных, нами выделено три основных направления распространения промежуточных вод в зависимости от времени года: юго-восточное – котловина Ямато, южное – котловина Улунг и восточное.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hogan P.J., Hurlburt H.E. – Impact of upper ocean-topographical coupling and isopycnal outcropping in Japan/East Sea models with $1/8^0$ to $1/64^0$ resolution. – J. Phys. Oceanogr. – Vol. 30, No. 10, P. 2535 – 2561. – 2000.
2. Yoon J.H. – Numerical experiment on the circulation in the Japan Sea. Part 1: Formation of the East Korean Warm Current. – J. Oceanography Society. Japan – Vol. 38, P. 43 – 51. – 1982.
3. Aubrey D.G., Danchenkov M.A., Riser S.C. – Belt of salt water in the north-western Japan Sea. – In: Proceedings of CREAMS'2000 International Symposium. Far Eastern Hydrometeorological Institute, Vladivostok, P. 11-20 – 2000.
4. Sudo H. – A note on the Japan Sea Proper Water. – Prog. Oceanogr. – Vol. 17, P. 313-336. – 1986.
5. Senjyu T., Sudo H. – Water characteristics and circulation of the upper portion of the Japan Sea Proper Water. – J. Mar. Sys. – Vol. 4, P. 349-362. – 1993.
6. Teague W.J., Carron M.J., Hogan P.J. – A comparison between the Generalized Digital Environmental Model and Levitus climatologies. – J. Geophys. Res. – Vol. 95, No. C5, P. 7167 – 7183. – 1990.

© Г.А. Платов, Е.Н. Голубева, 2005

УДК 528.9 (470.21)

О.В. Тутубалина

МГУ, ИТЦ «СканЭкс», Москва

Е.А. Шипигина

МГУ, Москва

СОЗДАНИЕ СЕРИИ КАРТ НА ОСНОВЕ СНИМКОВ LANDSAT ETM+ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА КОЛЬСКОМ СЕВЕРЕ

Использование космических снимков в качестве источника объективной и оперативной информации является актуальной задачей рационального природопользования. С 2003 г. авторами ведется аэрокосмическое картографирование водосбора озера Имандра площадью 12 тыс. км² в центральной части Кольского полуострова. Работы включают полевые исследования эталонных участков, совершенствование методик обработки космических снимков, составление серии оригинальных карт территории с помощью пакетов программ ERDAS Imagine 8.4-8.6, ArcView 3.2 и 9.0.

На первом этапе была создана карта современного состояния растительного покрова изучаемой территории в масштабе 1:200 000 на основе космических снимков Landsat ETM+. Затем, на базе полученной карты и дополнительных материалов в том же масштабе была составлена карта антропогенного воздействия и землепользования в водосборе озера Имандра. В настоящее время создается третий компонент серии – карта зонирования территории для рекреационного использования.

Карта современного состояния растительного покрова водосбора озера Имандра. Для картографирования были выбраны пять перекрывающихся космических снимков Landsat ETM+ за четыре даты: 17 июля 1999 г., 26 июля 2000 г. (2 снимка), 28 июля 2000 г. и 20 июня 2001 г. Все снимки удовлетворяли

определенным условиям (Шипигина, 2004): а) период съемки с 10 июля по 10 августа, оптимальный период для аэрокосмического картографирования растительности центральной части Кольского полуострова по снимкам, находящейся в это время на пике вегетационного периода; б) срок съемки – не ранее 1999 г.; в) малооблачные условия съемки; г) снимки перекрываются между собой и полностью охватывают район исследования.

Методика обработки снимков (Тутубалина, Шипигина, 2004) включала их отдельную компьютерную классификацию с обучением по методу максимального правдоподобия с вводом параметров согласования. При этом классификация четырех снимков осуществлялась на основе предварительной классификации без обучения по алгоритму ISODATA с разделением на 21 класс базового (территориально лучше всего изученного) космического снимка от 28 июля 2000 г. Создание согласованных обучающих выборок по перекрывающимся участкам снимков позволило учесть систематические различия между снимками в значениях яркости пикселей, связанные с разной плотностью атмосферной дымки и частично – с фенофазой растительности. Карты классификаций снимков были смонтированы в единую мозаику. К мозаике карт классификаций и совокупности дополнительных информационных слоев, созданных по полевым и фоновым материалам – цифровой модели местности (ЦМР), границ тундр, городской застройки и сельскохозяйственных земель было применено разработанное авторами дерево решений экспертной классификации.

Результирующая карта современного состояния растительного покрова водосбора озера Имандра ранжирует лесные и тундровые экосистемы по степени повреждения аэротехногенными выбросами. Карта была обработана мажоритарным фильтром для генерализации контуров соответственно масштабу 1:200 000 и дополнена тематическими элементами (контура гарей, вырубок) и элементами цифровой картографической основы (болота, автомобильные дороги, реки).

Уточнение, коррекция и оценка достоверности карты осуществлялась по 110 полевым опорным участкам. При оценке достоверности карты особое внимание в поле уделялось классу «умеренно поврежденные (40-60 % погибших и поврежденных деревьев) преимущественно хвойные леса», так как на карте современного состояния растительного покрова он покрывает большую площадь (более 25% территории). Из полевых наблюдений прошлых лет и литературных источников известно, что на ряде участков распространение этого класса ошибочно. Как правило, на таких участках наземные описания фиксировали классы «слабо поврежденные (менее 40 % отмирающих и поврежденных деревьев) преимущественно хвойные леса» и «слабо поврежденные (менее 40 % отмирающих и поврежденных деревьев) преимущественно лиственные леса». В ходе полевых маршрутов было установлено, что на этих территориях в напочвенном покрове доминируют определенные виды мохово-лишайникового яруса, прежде всего, *Cetraria nivalis*. Это ведет к повышению спектральной яркости участка и уменьшению контраста между яркостью в красном и ближнем инфракрасном диапазоне,

характерного для здоровой лесной растительности. Кроме того, в класс умеренно поврежденных лесов попадали молодые сосново-кустарничковые леса, произрастающие на месте гарей, в которых кустарнички не полностью (на 70-85%) закрывают почвенный покров. В тоже время, если в нижнем ярусе леса преобладали кустарничковые виды и отсутствовали лишайники, то территория классифицировалась правильно, как участок с преобладанием слабо поврежденной и условно фоновой растительности. На основе полевых данных (описаний опорных точек) и фондовых материалов (карт лесной таксации и карты растительности Лапландского заповедника), в будущем возможна частичная коррекция границ распространения данного класса на этапе классификации космических снимков.

Оценка достоверности карты в целом проводилась на основе таблицы сопоставления классов, полученных при автоматизированном дешифрировании с полевыми описаниями опорных точек 2004 г. Ее анализ показывает, что несоответствие полевого описания опорного участка названию класса соответствующего пиксела на карте наблюдается на антропогенно преобразованных участках (например, застройка: здание электроподстанции, дачные участки или песчаные карьеры вдоль автодорог), которые не были предварительно внесены в класс «жилая и промышленная застройка, карьеры и хвостохранилища». Наблюдаются несовпадения в названиях территорий, ошибочно попадающих на карте в класс «умеренно поврежденные (40-60 % погибших и поврежденных деревьев) преимущественно хвойные леса». Из 110 опорных точек полевые описания 26 точек (24%) не соответствуют названию их класса на карте современного состояния растительного покрова. Таким образом, достоверность карты в целом можно приблизительно оценить в 76%.

Дополнительно проводилась оценка однородности опорных участков на снимках в пределах окна 3x3 пиксела. В среднем по всем участкам однородность классов в пределах окна (преобладание опорного класса), составила 89%, а $\frac{3}{4}$ опорных точек были выбраны на 100 % однородных участках. Высокая однородность участков подтверждает правомерность их выбора и надежность полевой оценки достоверности карты в целом.

Карта антропогенного воздействия на растительный покров и воды и землепользования в водосборе озера Имандра. Картографической основой и базой карты антропогенного воздействия и землепользования в водосборе озера Имандра является карта современного состояния растительного покрова и ее слой-маски («промышленная и городская территория», «сельскохозяйственные поля», «гари», «вырубки»). В связи с трудностями в автоматизированном разделении слабо поврежденных и умеренно поврежденных хвойных лесов, по экспертным данным был создан специальный слой, очерчивающий зону химического воздействия от аэротехногенных выбросов металлургических предприятий комбината «Североникель», в пределах которой выделяется различная степень промышленного влияния на растительность, от катастрофической (древесный ярус мертвый на 100%) до средней (доля погибших и поврежденных деревьев 40-60%), растительность вне этой зоны определяется как слабо поврежденная и неповрежденная. По данным Т.И.

Моисеенко (2002) дополнительно были нанесены реки и озера, находящиеся под химическим воздействием от стоков металлургических и горнообогатительных предприятий.

Класс «жилая и промышленная застройка, карьеры, хвостохранилища» был разбит в соответствии с типом и видом воздействия «промышленный: механический (промышленная застройка), механический и химический (карьеры; хвостохранилища)», «селитебный: механический (селитебная застройка)». Слои «сельскохозяйственные поля» сельскохозяйственного типа воздействия, «гари» и «вырубки» лесохозяйственного типа воздействия были полностью перенесены с карты современного состояния растительности. Была проведена тщательная корректировка привязки к картографической основе и атрибутов автомобильных и железных дорог (транспортный тип воздействия) заимствованных с цифровой топографической карты 1:200 000 (состояние местности на 1980-е гг.). Кроме того, были составлены элементы, относящиеся к рекреационному типу воздействия, включающие рекреационную застройку, а также туристические тропы и горнолыжные трассы. Под рекреационной застройкой понимаются садово-дачные участки, базы отдыха, санатории, профилактории и их территория. Эти элементы создавались на основе полевого дешифрирования космических снимков и по данным земельных комитетов администраций городов картографируемого района. Тропы и горнолыжные трассы были нанесены по карте Хибинских тундр масштаба 1:100 000 (2002), а также по данным полевых наблюдений 2002-2004 гг. Помимо этого, по данным полевого социологического опроса были нанесены участки лесопромыслов (лесохозяйственный тип воздействия).

Объекты землепользования картографировались по данным городских администраций, опросам жителей, цифровым и бумажным картам различного содержания и космическим снимкам территории. При выделении классов землепользования мы опирались на классификацию видов использования территорий, предложенную С.Г. Покровским (2003) и собственную экспертную оценку.

Порядок элементов землепользования в легенде соответствует принципу интенсивности использования земель. На карте отображены участки земель и объекты, используемые населением в данном районе: 1. Селитебная территория: жилая застройка населенных пунктов; 2. Промышленная территория: промышленная и хозяйственная застройка; карьеры; хвостохранилища; 3. Лесохозяйственная территория: вырубки; границы лесхозов; лесопромыслы: участки сбора грибов и ягод; 4. Транспортная сеть: автомобильные дороги с покрытием; без покрытия, железные дороги ширококолейные; узкоколейные; 5. Сельскохозяйственная территория: сенокосы; 6. Рекреационная территория: садово-огородные и дачные участки; санатории; профилактории; базы отдыха; городские парки; горнолыжные трассы; туристские тропы; тропы; участки вылова рыбы; участки охоты; пляжи; 7. Особо охраняемые территории и объекты: Лапландский природный биосферный заповедник; Государственный охотничий заказник "Пиренгский"; Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского Научного Центра

РАН и его части: 1 – дендрологический парк «Имандра»; 2 – дендрологический парк в Кандалакшском лесхозе; памятники природы областного значения - геологические (базальтоидные лавы у Рижгубы); ботанические (сосны-долгожители в Мончегорском лесхозе; роща Эйхфельда, кедры сибирские и лиственницы сибирские у станции Хибины; печеночники в ущелье Айкуайвенчорр); природно-исторические; Йокостровское кинтище (погост); 8. Прочая территория: гари; болота; озера; реки; граница водосбора озера Имандра.

Карта зонирования территории для рекреационного использования создается в настоящее время на основе первых двух карт серии. В ней будут учтено современное состояние растительного покрова и вод в водосборе озера Имандра, интенсивности и перспективы продолжения различных видов воздействия, сложившееся землепользование, даны рекомендации по изменению и дополнению современного размещения и спектра типов рекреационного использования территории.

Результаты работ могут быть использованы администрацией и земельным комитетом Мурманской области, комитетами по культуре и спорту администраций городов, расположенных на картографируемой территории, научными, учебными и природоохранными организациями, лесными службами (лесхозы, лесничества), руководством медно-никелевого горно-металлургического комбината «Североникель» для планирования развития территории и природоохранных мероприятий.

Авторы благодарны Е.И. Голубевой, З.В. Макаровой, Т.Д. Макаровой и В.И. Кравцовой за помощь в организации полевых исследований, предоставление данных и ценные консультации, НП «Прозрачный мир» и программе «Global Land Cover Facility» за предоставление снимков Landsat ETM+.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Лукин А.А., Кудрявцева Л.П., Ильяшук Б.П., Ильяшук Л.И. Сандимиров С.С., Каган Л.Я., Вандыш О.И., Шаров А.Н., Шарова Ю.Н., Королева И.Н. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука, 2002.
2. Покровский С.Г., Осетров А.Е. Географические проблемы современного землепользования. М.: Изд-во МГУ, 2003.
3. Тутубалина О.В., Шипигина Е.А. Методика компьютерной классификации по нескольким космическим снимкам (на примере картографирования состояния растительности водосбора озера Имандра) // ArcView. 2004, №4.
4. Шипигина Е.А. Составление карты состояния растительности для водосбора озера Имандра по разновременным космическим снимкам// Тезисы докладов участников XI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2004», секция Географии 13-14 апреля 2004 г. Москва: Географический факультет МГУ, 2004.
5. Экологический атлас Мурманской области. М-Апатиты, 1999.
6. Хибины. Карты Хибинских и Ловозерских тундр. Масштаб 1:100000. М.: ИПУ РАН, ФГУП "Аэрогеодезия", 2002.

© О.В. Тутубалина, Е.А. Шипигина, 2005

ОПЫТ ОСВОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИНСТИТУТЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ СГГА

На протяжении 4 лет Сибирская государственная геодезическая академия (СГГА) является участником программы поддержки ВУЗов, объявленной ООО «Датой+» (г. Москва) и ведущими мировыми производителями геоинформационных программных продуктов. В рамках программы СГГА применяет в своих образовательных и научно-исследовательских целях систему обработки данных дистанционного зондирования ERDAS Imagine (Leica Geosystems&GIS Mapping) и обеспечение ArcInfo&ArcView GIS(ESRI). Данные продукты являются одними из лидеров на рынке программного обеспечения для обработки пространственной информации.

Программа поддержки ВУЗов предусматривала подготовку специалистов по работе с вышеозначенными системами в сертифицированных учебных центрах. Лицензированными специалистами позже были проведены обучающие курсы для освоения систем составом аспирантов и преподавателей профильных кафедр. Система ERDAS Imagine, ориентированная на обработку аэрокосмических снимков, стала активно использоваться в дипломном проектировании, исследованиях аспирантов, включаться в лабораторные и практические занятия студентов разных форм обучения.

В первых проектах средства систем использовались не в полном функциональном объеме, однако постепенно ставились более сложные задачи, прорабатывались новые пути их решения, строились технологии, разрабатывались методики. И сегодня, без доли преувеличения, можно смело говорить о том, что ряд дисциплин учебного процесса кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, экологии и природопользования не могут обойтись без таких современных и полнофункциональных средств обработки данных о Земле, таких как ERDAS Imagine и ArcView GIS.

В научно-исследовательских проектах геоинформационные программные средства использовались:

- При разработке методики автоматизированного выявления мест нефтезагрязнений по аэрокосмическим снимкам;
- Для автоматизированного набора эталонов с целью дешифрирования нефтезагрязнений методами управляемой классификации;
- Для повышения пространственного разрешения космической информации с помощью слияния её с аэроснимками;
- Для проведения оценки точности результатов классификаций различных типов;
- При разработке методики автоматизированной оценки точности классификации изображений по параметрическим и непараметрическим решающим правилам;

- Для разработки методики определения коэффициентов спектральной яркости нефтезагрязнений по космическим снимкам;
 - При разработке методики атмосферной коррекции для предварительной обработки аэрокосмической информации (на основе анализа гистограмм распределения яркостей в каждом спектральном канале и введения коэффициента поправки в исходные изображения в зависимости от типа рассеивания атмосферы);
 - Для построения трёхмерной модели нефтегазодобывающего комплекса и моделирования развития процесса нефтеразлива в окружающей природной среде;
 - При построении карт динамики мест нефтезагрязнений по разновременным космическим снимкам, полученным различными съёмочными системами;
 - При разработке технологии построения 3d карт городской и сельской территории на примере аэрофотоснимков г. Новосибирска и с. Краснозёрское;
 - При разработке технологий обработки неметрических цифровых снимков различных биологических объектов для решения прикладных задач;
 - Разработана методика оценки степени поражения листьев пшеницы стеблевой ржавчиной по цифровым макроснимкам;
 - Методика определения количественных характеристик внутреннего строения листа видов рода копеечник;
 - Методика обработки стереопар микроизображений пыльцевых зерен.
- В рамках научно-исследовательских работ были получены:
- База пространственных данных на основе картографической и аэрокосмической информации для геоинформационного обеспечения учебных практик на район полигона «Боровое»;
 - Электронные мультимедийные обучающие приложения по дисциплинам геоинформационного направления;
 - Методики освоение модулей системы ERDAS Imagine для фотограмметрической обработки снимков.

Разработан ряд лабораторных работ и методических рекомендаций по использованию ГИС-пакетов ERDAS Imagine и ArcView GIS в учебном процессе кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, которые вошли в учебно-методические комплексы таких дисциплин как:

- Геоинформационные системы природопользования;
- Геоинформационные системы управления городской средой;
- Основы ГИС;
- Автоматизация обработки аэрокосмической информации;
- Дистанционное зондирование;
- Мониторинг лесов по материалам аэрокосмических съёмок;
- Основы аэрокосмического мониторинга окружающей среды;
- Аэрокосмические методы мониторинга поверхности Земли;
- Цифровая фотограмметрия.

Примерами лабораторных работ, выполняемых с использованием ERDAS Imagine могут служить:

- Отработка технологии географической привязки и трансформирования снимков, полученных с космических летательных аппаратов. В процессе работы студенты приобретают навыки подбора параметров трансформирования, идентификации и измерения соответственных точек пары снимков, вычисления параметров трансформирования, контроля и оценки точности измерений соответственных точек;

- Ортотрансформирование космического снимка SPOT с использованием каталога координат опорных точек и цифровой модели рельефа. В процессе работы студенты приобретают навыки задания параметров картографической проекции, опознавания и измерения опорных точек на снимке;

- Монтаж фотоплана. В процессе работы студенты приобретают навыки монтажа перекрывающихся изображений, задания линии сшивки цифровых изображений, оценки точности сшивки по соответственным контурам на линии сшивки, зарамочного оформления полученного фотоплана.

В рамках летних учебных практик проходит знакомство с методами автоматизации дешифрирования в системе ERDAS Imagine. Осваиваются процедуры геометрической коррекции спектральнональных снимков, процедуры автономной классификации с последующей перекодировкой, генерализацией тематических данных и назначением имен классов.

Программные средства позволяют выпускать специалистов современного уровня подготовки. Системы ERDAS Imagine и ArcView GIS являлись базой для проведения экспериментов в рамках дипломных проектов студентов специальностей «Аэрофотогеодезия», «Исследование природных ресурсов аэрокосмическими средствами», «Геоэкология»:

1. «Использование геоинформационных технологий для решения тематических задач в сфере маркетинга» 2004/05 уч.год (ст. Алферова С.)

2. «Автоматизация расчетов показателей экологического потенциала в среде ГИС» 2004/05 уч.год (ст. Мурина А.)

3. «Использование материалов дистанционного зондирования для решения тематических задач оценки лесных ресурсов и растительного покрова» 2004/05 уч. год (ст. Полетаева М.)

4. Разработка геоинформационной технологии создания электронного атласа для целей геоэкологической паспортизации районов Новосибирской области - 2003/04 уч.год (ст. Егорова Е.)

5. Паспортизация природных объектов средствами ГИС по материалам космических съемок - 2003/04 уч.год (ст. Горн О.)

6. «Разработка технологий создания трехмерных карт с использованием ERDAS IMAGINE» 2003/04 уч.год (ст. Голикова М.)

7. «Построение карт динамики нефтезагрязнений на примере месторождения Пограничное» 2003/04 уч.год.(рук. Павленко А.В.)

8. «Применение информационных технологий в управлении водными ресурсами» 2003/04 уч.год (ст. Прудников Р., рук. Трубина Л.К.)

9. «Геоинформационное моделирование данных в растровой ГИС «ERDAS IMAGINE» 2003/04 уч.год (ст. Ермакова М.)

10. «Разработка методики повышения достоверности автоматизированного дешифрирования многозональных снимков лесных территорий» 2003/04 уч.год (ст. Дементьева О.)

11. «Фотограмметрические решения в ERDAS Imagine» 2002/03 уч.год (ст. Лидер В.)

12. «Технология создания электронных тематических карт в среде ГИС» 2002/03 уч.год (ст. Рябченко А., Аблоухова Н.)

13. «Построение трёхмерной модели нефтепромысла средствами различных ГИС» 2002/03 уч.год (ст. Балина Л.)

14. «Оценка достоверности классификаций, проведённых по параметрическим и непараметрическим наборам эталонов» 2002/03 уч. год (ст. Сарсенова Н.)

15. «Разработка методики экспериментального расчёта коэффициентов спектральной яркости нефтезагрязнений по космическим снимкам» 2002/03 уч.год (ст. Долгополова Т.)

16. «Создание базы пространственных данных для геоинформационного обеспечения учебных практик на район полигона «Боровое» - 2001/02 уч.год (ст. Логинова Н.)

17. «Разработка методики создания набора эталонов для выявления различных типов нефтезагрязнений по космическим снимкам методами управляемой классификации» 2001/02 уч. год (ст. Бахарева А.)

18. «Разработка электронных мультимедийных обучающих приложений по дисциплинам геоинформационного направления» 2000/01 уч.год (ст. Бугрова О., Пономаренко А.)

Высокие функциональные возможности пакетов обработки пространственной информации позволяют эффективно использовать его в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению «Фотограмметрия и дистанционное зондирование».

Одним из направлений научных исследований на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования на сегодня является разработка и исследование системы мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по материалам аэрокосмических съёмок. В рамках этого направления широко применяется многофункциональная система ERDAS Imagine.

Работа посвящена вопросам разработки региональной системы оперативного мониторинга, позволяющей решать задачи слежения и прогнозирования обстановки для целей обеспечения информационной поддержки принятия управленческих решений по организации предупредительных мероприятий, а также ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Одной из основных задач, решаемых на основе данных дистанционного зондирования (ДЗ), является оперативное получение данных о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера, а также об экологической, геофизической и метеорологической обстановке для прогноза опасных явлений. Сочетание визуальных и инструментальных методов, использование

космических средств позволяет существенно расширить контролируемую территорию, повысить периодичность наблюдения, оперативность обнаружения чрезвычайных ситуаций, точность определения размеров пораженной площади и наносимого ущерба природным экосистемам.

Современные методы многозональных съемок и возможности полнофункционального спектрального анализа изображений, являются идеальным инструментом по детектированию природных и антропогенных объектов на основе их характерных спектральных признаков.

Перспективы развития пользовательского модуля – это доведение его до уровня экспертной системы: системы поддержки принятия управленческих решений по оптимизации временных, финансовых и технических затрат.

Система, основанная на модульности как функциональной, так и тематической, является легко адаптируемой под задачи оперативного мониторинга различных объектов природной среды (мониторинг растительности, паводковые ситуации, нефтяные загрязнения, сельское хозяйство и др.). *Как правило, мониторинг основан на анализе временных серий космических снимков. По космическим данным возможно проводить качественную оценку существующих ситуаций и наблюдать за динамикой их развития, точно отслеживая скорости распространения. Детектируя события на космоснимках, фиксируя скорость распространения их, можно сопоставлять результат с какой-либо статистической моделью и более точно устанавливать границы распространения явления, делать выводы и прогнозы.*

© Е.Н. Кулик, 2005

УДК 629.78
В.А. Попов
НЦГиК, Ташкент

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ЛАНДШАФТОГЕНЕЗА В КРИЗИСНЫХ ЭКОРЕГИОНАХ АРИДНЫХ СТРАН ПО РАЗНОВРЕМЕННЫМ ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ)

Вот уже более сорока лет применение космических средств, обеспечивающих обзор больших площадей поверхности нашей планеты, является действенным методом наблюдения за природной средой и антропогенной трансформацией ландшафтов Земли. Наибольший эффект от использования приемов дистанционного зондирования земной поверхности достигается на территории кризисных в экологическом отношении регионов.

Резкая интенсификация природопользования во второй половине XX века привела к дестабилизации окружающей среды и возникновению на территории Средней Азии и Казахстана ряда кризисных экорегионов. К наиболее известным из них относится Аральское море и Приаралье, озеро Балхаш и Прибалхашье, а также озеро Иссык-Куль и прилегающие к нему участки. Все эти регионы объединяет антропогенная трансформация гидрологического режима указанных акваторий и прилегающих к ним территорий. Менее

известны проблемы того же рода характерные для антропогенного озера Айдаркуль, возникшего в 1969 году на территории Узбекистана в пограничной с Казахстаном зоне и с той поры являющегося дестабилизирующим экологическим фактором обширного региона, расположенного на стыке пустыни Кызылкум и Голодной степи.

В настоящей работе приводятся результаты наших исследований процессов антропогенного ландшафтогенеза на территории Южного Приаралья, рассматриваемого здесь в политико-административных границах Республики Каракалпакстан и Хорезмской области Республики Узбекистан.

Под ландшафтогенезом понимается совокупность всех преобразований, испытываемых географической системой (геосистемой, ландшафтом, природным территориальным комплексом) от зарождения до смены ее другой, а также процесс естественноисторического развития ландшафтной сферы Земли, всего разнообразия видов, родов, групп, типов и других подразделений ландшафтов (Попов, 2002).

Процессы ландшафтогенеза на территории Южного Приаралья, полностью расположенного в аридной зоне, исследуются нами, начиная с середины 70 гг. прошлого века. Для выявления изменений в морфологической структуре геосистем и темпов эволюции ландшафтов, вызванных резким снижением обводненности Приаралья и оценки степени остроты экологической ситуации региона применялось ландшафтное картографирование его территории с высокой степенью информативности путем дешифрирования разномасштабных аэро- и космических снимков на тестовых участках методами экстраполяции и многоступенчатой генерализации с периодичностью 5-8 лет (Попов, Виноградов, 1982; Попов, 1990). Высокая детальность создаваемых карт достигалась ландшафтной съемкой и исследованиями процессов ландшафтогенеза на разных иерархических уровнях. Для этого использовались материалы дистанционного зондирования Земли, полученные в период 1970-2000 гг.: аэрофотоснимки и их накладки фотомонтажи, а также космические фотоснимки различного разрешения, полученные с искусственных спутников Земли «Landsat», орбитальных космических станций «Салют», космических аппаратов «Ресурс».

За время работы в районе исследований проведено было проведено около 1100 комплексных полевых описаний местности на специально разработанных для этого единых бланках с заложением почвенных шурфов и отбором образцов почв и грунтовых вод и последующим химическим их анализом.

Источниками сведений о природных условиях в регионе, существовавших до начала работы нашего проекта служили топографические карты различных масштабов, почвенные и сельскохозяйственные карты, а также довольно многочисленные литературные данные.

Для анализа складывающейся экологической обстановки в районе исследований и ведения мониторинга экологической ситуации в Приаралье в начале работы нами была разработана экологическая классификация ландшафтов изучаемого региона. Согласно этой классификации все геосистемы в зависимости от доминирования на их территории того или иного

экологического режима были разбиты на пять основных групп: гидроморфную (Ги), мезоморфную (Ме), галоморфную (Га), ксероморфную (Кс) и антропогенную (А) (Попов, 1990; Попов, 1994). Данная экологическая классификация являлась неотъемлемой частью легенд всех ландшафтных карт выполнявшихся нами в последующий период.

До 1961 года составляющие довольно неоднородную по своей ландшафтной структуре территорию Приаралья геосистемы находились в относительном равновесии, то есть в состоянии динамического баланса. Постоянно пронизывающие ландшафты вещественно-энергетические потоки, действующие обновляюще на их морфологическую структуру, не вели, однако, к потере целостности природных территориальных комплексов и, в общем, сохраняли свои основные количественные и качественные характеристики (Виноградов, Попов, 1982).

Нерациональная хозяйственная деятельность в бассейне Аральского моря во второй половине прошлого века, явившаяся причиной резкого снижения поступления речного стока в этот бессточный водоем привела к резкому падению его уровня. Это, в свою очередь, наряду с резким сокращением обводнения дельт Амударьи и Сырдарьи явилось основным фактором нарушения природного равновесия в Приаралье.

На середину 80-х годов прошлого века приходится пик активности ландшафтогенеза в Приаралье. В это время в этом регионе наблюдается взрыв ландшафтного разнообразия. Количество новых видов увеличилось главным образом на территориях «живых» дельт Амударьи и Сырдарьи. Этот феномен объясняется наступившим здесь переходным периодом между гидроморфной и ксероморфной фазами развития геосистем. Характерные для этих регионов до 60-х годов XX века болотные и луговые типы природных территориальных комплексов постоянно сокращаясь в площади, уступали место приходящему им на смену новому, пустынному типу ландшафтов с родами солончаковых, глинистых и песчаных пустынь. На этапе между концом 70-х и началом 90-х годов большая часть прежних, деградирующих и сформировавшихся, прогрессирующих видов геосистем сосуществовали на одной территории, находясь в условиях жесткой конкуренции. Этим они создавали сложную мозаику ландшафтной структуры низовий Амударьи и Сырдарьи, обеспечивая, таким образом, высокое ландшафтное разнообразие в Приаралье.

К началу последнего десятилетия XX века природная обстановка в Южном Приаралье начинает стабилизироваться. Количество видов ландшафтов начинает снижаться. Постепенно здесь утверждается новый экологический режим, отличающийся от прежнего, характерного для изучаемой территории в первой половине прошлого столетия более высокой аридностью.

До конца XX века здесь продолжалась стабилизация экологической ситуации на фоне возрастающей ксероморфизации региона и XXI столетие природа Приаралья встретила в начале своего очередного периода относительного равновесия на качественно новом уровне.

На рис. 1 приведена динамика относительных площадей экологических групп ландшафтов в рамках фиксированной территории сопряженных тестовых

участков №2 и №3, расположенных в северной части бывшей «живой» дельты Амударьи, переходящей в акваторию Аральского моря (М) и дающей представление о характере происходящих в Приаралье процессов ландшафтогенеза.

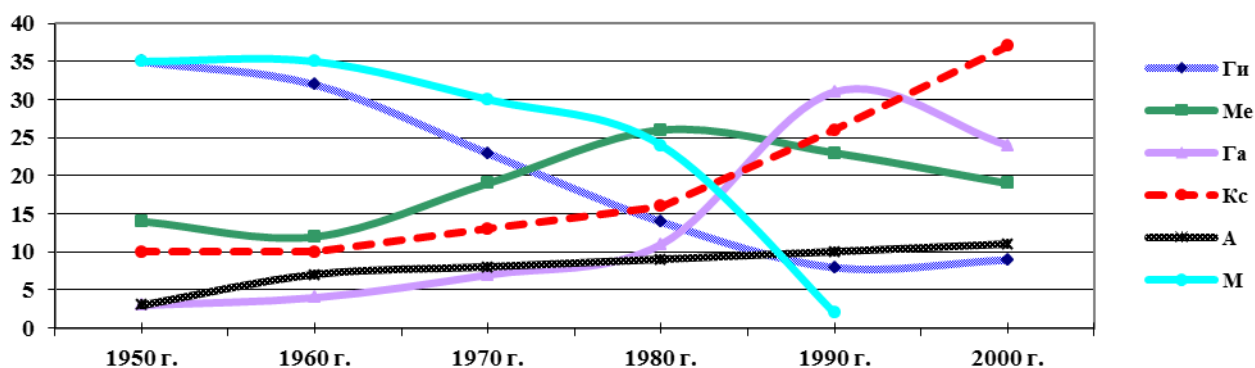


Рис. 1. Динамика относительных площадей экологических групп ландшафтов тестовых участков №2 и №3 во второй половине XX века, %% от общей площади участков

Проведенные в регионе исследования позволили синтезировать полученные результаты и представить их в виде моделей ландшафтогенеза на территории Приаралья (Виноградов, Попов, 1988; Виноградов, Фролов, Попов, 1989).

На рис. 2 представлена принципиальная графическая модель эволюции ландшафтов в аридных регионах. С определенными модификациями она справедлива для каждого из слагающих Приаралье участков и природных территориальных комплексов всех иерархических рангов, поскольку все они расположены в одной географической зоне и находятся в одинаковых макроклиматических условиях. Отличия между моделями преобразования геосистем на разных участках региона могут обуславливаться лишь наличием или отсутствием на его территории той или иной экологической группы ландшафтов, занимаемой ими площади и величиной площадей переходов между ними. Однако генеральная направленность ландшафтогенеза от гидроморфных геосистем к ксероморфным сохраняется везде, так как она обусловлена глобальной географической закономерностью стремления ландшафтов к соответствию своему зональному типу.

Такая консолидированная модель ландшафтогенеза дает также общее представление о происходящих сукцессиях ландшафтов во всех аридных регионах земного шара.

Наблюдаемое в Приаралье в течение последних сорока лет устойчивое замещение гидро- и мезоморфных ландшафтов, благоприятных для жизнедеятельности человека гало- и ксероморфными явилось фактором ухудшения экологической ситуации в регионе.

Анализ мониторинга процессов ландшафтогенеза в Приаралье позволил определить эволюцию окружающей среды этого экорегиона во второй половине

XX века как прогрессирующее антропогенное опустынивание. Однако в силу ряда мощных социально-экономических и природных факторов (спад производства, увеличение обводненности и др.), действующих в настоящее время в бассейне Аральского моря темпы опустынивания здесь постепенно снижаются.

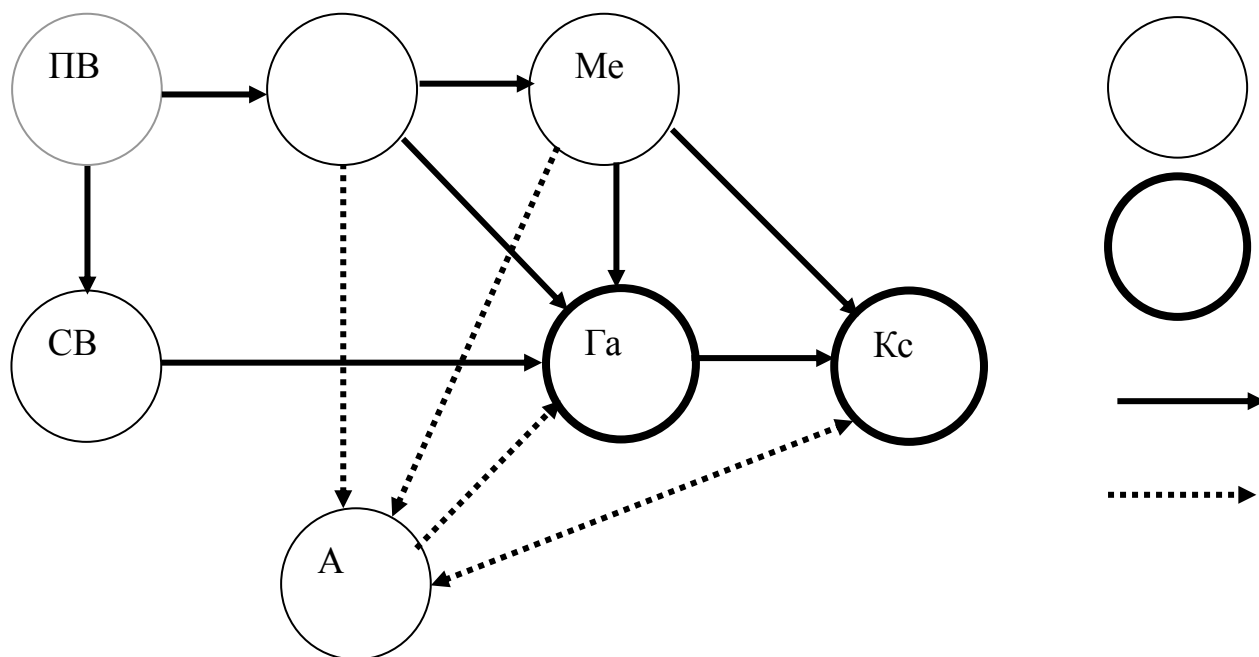


Рис. 2. Принципиальная графическая модель эволюции ландшафтов в аридных регионах

1 – Экологические группы ландшафтов:

Ги – гидроморфная, **Ме** – мезоморфная, **Га** – галоморфная,
Кс – ксероморфная, **А** – антропогенная.
ПВ – пресноводные водоемы, **СВ** – солончатые и соленые водоемы.

2 – Наиболее устойчивые группы геосистем.

3 – Наиболее характерные направления природного и косвенно-антропогенного типов ландшафтогенеза.

4 – Наиболее характерные направления антропогенного типа ландшафтогенеза

Результаты анализа мониторинга и моделей ландшафтогенеза, разработанных для территории Приаралья и передающих сущность происходящих в этом кризисном регионе природных процессов будут способствовать выработке оптимальных управленческих решений по стабилизации экологической ситуации в регионе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов Б.В., Попов В.А. Вероятностный прогноз и динамика экосистем дельты Амударьи // География и природные ресурсы, 1982. № 3. С. 38 - 45.

2. Виноградов Б.В., Попов В.А. Опыт нормативного экологического прогноза по долговременному космическому эксперименту // Доклады Академии наук СССР, 1988. Т. 300, № 4. С. 1017 - 1020.

3. Виноградов Б.В., Фролов Д.Е., Попов В.А. Опыт моделирования динамики экорегиона с помощью неоднородных цепей Маркова // Доклады Академии наук СССР. 1989, т. 309, № 5. С. 1263 - 1266.

4. Попов В.А. Проблема Арала и ландшафты дельты Амударьи (структурно-динамическое состояние ландшафтов Южного Приаралья в связи с проблемой Арала). Ташкент: Фан, 1990. 112 с.

5. Попов В.А. Экологическая классификация природных территориальных комплексов аридных зон // Теоретические и прикладные вопросы географии Узбекистана. Сборник научных трудов. Выпуск II. Ташкент, 1994. С. 49 - 52.

6. Попов В.А. О концепции ландшафтогенеза в физической географии // Известия Узбекистанского географического общества. Том 22. Ташкент, 2002. С. 7 - 10.

7. Попов В.А., Виноградов Б.В. Мелкомасштабное ландшафтное картографирование Южного Приаралья // Проблемы освоения пустынь. 1982, № 3. С. 40 - 48.

© В.А. Попов, 2005

УДК 528.852

Э.Я. Островский, С.В. Румянцев, В.А. Фадеев, И.В. Пряников

АНО «ИПТ», Лаборатория «НАСТ», Москва

НЕАДАПТИВНАЯ СТАЦИОНАРНАЯ СТРУКТУРА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ – ОБЪЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ

В современных исследованиях различных природных комплексов всё большую роль играют их цифровые изображения (DI): 2D-3D матрицы чисел, объектам которых поставлены в соответствие цифровые значения интенсивности «n» наблюдаемых параметров ($n \geq 1$). Традиционные технологии превращения исходной DI в источник информации базируются на использовании специальных, адаптивных, алгоритмов, с помощью которых DI «приспосабливается» к внутренней предуготовке Исследователя: его знаниям, опыту, интуиции, ожиданиям, предпочтениям и т.д.

Т.е. сводя DI в фокус понимания или точку зрения Исследователя, которая представляется ему наиболее подходящей в конкретных условиях. В результате Исследователь, сосредотачиваясь на определенных аспектах исследуемой DI, неизбежно упускает другие. Это естественная избирательность адаптивного восприятия вкупе с известным «принципом дополнительности», постулирующим неустранимую множественность точек зрения на одну и ту же реальность, делает вероятным появление артефактов типа слуховых или зрительных галлюцинаций.

Отмеченные ограничения адаптивных стратегий по превращению DI в источник информации ставят на повестку дня вопрос о необходимости альтернатив: абстрактных, неадаптивных стратегий, которые оставались бы неизменными при изменении граничных условий наблюдений DI (числа наблюдений, их плотности, параметров наблюдений) и целевых установок Исследователя.

В настоящем докладе рассматривается один из возможных подходов к созданию такой альтернативы. Речь идет о разработанной CS-технологии

(концепция, алгоритм, компьютерная версия), суть которой в неадаптивном упорядочивании произвольной DI путем её редукции к информационно значимому стационарному состоянию – уникальной, непротиворечивой консистентной структуре (CS). (1, 2, 3)

Концепция CS-технологии основана на признании истинности двух фундаментальных утверждений:

1. Основной информационной единицей, необходимой для описания структуры DI, является **однородность** или сообщество объектов, эквивалентно идентифицированных в пространстве спонтанных, стабильных признаков DI. При этом «**спонтанность**» означает, что признаки формируются вне зависимости от исследовательской предуготовки; **стабильность** признаков означает наличие их взаимной когеренции, взаимопоглощения.

2. Если неравновесная изолированная система событий не может перейти в состояние с нулевым производством энтропии, она спонтанно эволюционирует к стационарному состоянию, характеризуемому минимумом производства энтропии или «наименьшей диссипацией» (теорема Пригожина) (4, 5).

Из обоих утверждений следует, что, если на объектах DI образовать псевдослучайный Хаос всевозможных элементарных однородностей, то сгустки высококогерентных (минимально энтропийных) однородностей, спонтанно сформировавшиеся в этом Хаосе, могут рассматриваться в качестве стабильных признаков – индикаторов стационарного состояния DI.

Объекты DI, эквивалентно идентифицированные этими признаками, объединяются в непересекающиеся сообщества – «ассоциации по смежности». При этом каждый объект может принадлежать одной и только одной «ассоциации». Совокупность всех «ассоциаций» образует уникальную, непротиворечивую консистентную структуру, являющуюся объективным и адекватным источником информации, как в отношении ЦЕЛОГО, так и слагающих его однородностей, ЧАСТЕЙ.

Алгоритм неадаптивной редукции DI

Компьютерная версия «неадаптивной редукции» DI реализуется с помощью **p** - алгоритма, включающего:

- Формирование множества функционально разнообразных трансформаций входного DI (его проекций на функционально разнообразные оси) путем вычисления на DI в скользящем «окне» значений разнообразных функций: энтропии, дисперсии, градиентов, кривизны т.д.

- Формирование набора всех матриц- проекций;

- Формирование базовых дихотомий: приведение матриц- проекций к бинарному виду путем разбиения множества объектов каждой матрицы на два равномоощных, несовместных подмножества;

- Отбор наиболее значимых (наименее когерентных) дихотомий, число которых должно обеспечить выполнение условия:

$$2^N < K < 2^{N+1},$$

где K – число объектов DI;

N – число отбираемых базовых дихотомий;

- Образование псевдослучайного Хаоса элементарных однородностей путем всех возможных пересечений базовых дихотомий между собой;
- Полное число элементарных однородностей при этом может достигать величины $(3^N - 1)$;
- Отбор спонтанных стабильных признаков, образующих низкоэнтропийные ансамбли в виде последовательностей (цепочек) из взаимовложенных (высококогерентных) элементарных однородностей;
- Идентификацию (перекодирование) объектов входного DI теми стабильными признаками, в образовании которых участвуют эти объекты;
- Объединение эквивалентно идентифицированных объектов в «ассоциации по смежности»;
- Визуализацию:
 - а) Образовавшейся уникальной, непротиворечивой консистентной структуры в виде совокупности «ассоциаций по смежности»;
 - б) Отдельных «ассоциаций по смежности» как областей адекватной пространственной экстраполяции, (прогнозирования) для образующих их объектов.

Созданная CS-технология неадаптивной редукции цифровых изображений к стационарной структуре в отличие от традиционных технологий может реализовываться в условиях, когда число наблюдаемых параметров больше 1, т.е. при комплексных исследованиях.

CS-технология была успешно применена для прогнозирования редкометальных, золото-серебряных и углеводородсодержащих объектов по данным комплексных геофизических и сейсмических съемок на территории Узбекистана, КНР, США.

Выводы

Неадаптивная редукция цифровых изображений к информационно значимому стационарному состоянию является технологически новым направлением в области информатизации данных наблюдений природных комплексов. Объективный и адекватный характер получаемого результата при неизменности алгоритмического оформления позволяет рассматривать CS-технологию в качестве абстрактной, глубинной стратегии классификации данных. Её сочетание с традиционными программами, приспособленными для решения разнообразных конкретных геоинформационных задач, позволяет надеяться на обнаружение ранее неизвестных явлений, способных повлиять на устоявшиеся догмы.

Возможные эффективные аппликации CS-технологии представляются следующими:

- Прогнозирование и оценка природных ресурсов;
- Геоэкологический мониторинг;
- Поиск стабильных структур в сильно шумовых средах (водных, сейсмоактивных и др.)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ostrovski E. Y. US Pat. N5, 606, 499. Feb.25. 1997.

2. Островский Э.Я., Румянцев С.В., ДАН, Геофизика, т. 398, №3, 2004.
3. Poehl P.O., Ostrovsky E. Y., Weinberg A., Oil & Gas journal, USA, October 25, 1999.
4. Пригожин И. От существующего к возникающему. М., 2002.
5. Гленсдорф П., Пригожин И., Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973.

© Э.Я. Островский, С.В. Румянцев, В.А. Фадеев, И.В. Пряников, 2005

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ КАРТ ДИНАМИКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ РАЗНОВРЕМЕННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЁМОК

В связи со сложившейся на сегодняшний день ситуацией в Ханты – Мансийском автономном округе возникает насущная потребность иметь реальную картину экологического состояния территории округа и динамики происходящих на территории процессов загрязнений окружающей природной среды [1].

В экологическом мониторинге важное место отводится картографированию каких-либо процессов в различные моменты времени. Особое значение при построении карт динамики по результатам дистанционного зондирования приобретает использование материалов разновременных аэрокосмических съёмов.

При проведении исследований по построению карт динамики на конкретное месторождение участвовали следующие разновременные снимки, приведённые в табл. 1.

Таблица 1. Даты съёмов имеющихся аэрокосмических снимков

Название месторождения	Название съёмочной системы			
	Ресурс–01 №3 датчик МСУ – СК R = 170 м	Ресурс–01 №3 датчик МСУ – Э R = 40 м	Метеор–3М датчик МСУ – Э R = 40 м	МКФ–6 R = 20 м
Карамовское	23.07.91 23.05.99 13.06.00	23.07.91 22.08.91 13.06.00	09.06.02 02.06.03	25.06.89
Холмогорское	23.07.91 23.05.99 13.06.00	23.07.91 22.08.91 13.06.00	09.06.02 02.06.03	—
Пограничное	23.07.91 17.07.98 23.05.99 13.06.00	23.07.91 09.06.93 19.06.93	09.06.02 02.06.03	—

В результате проведённых исследований сложилась следующая технологическая схема построения карт динамики, представленная на рис. 1.

Разработанная технологическая схема состоит из двух этапов – это предварительная обработка исходных материалов, которая изначально включает в себя отбор имеющегося материала на конкретный район исследований, и тематическая обработка с целью выявления нефтезагрязнений.

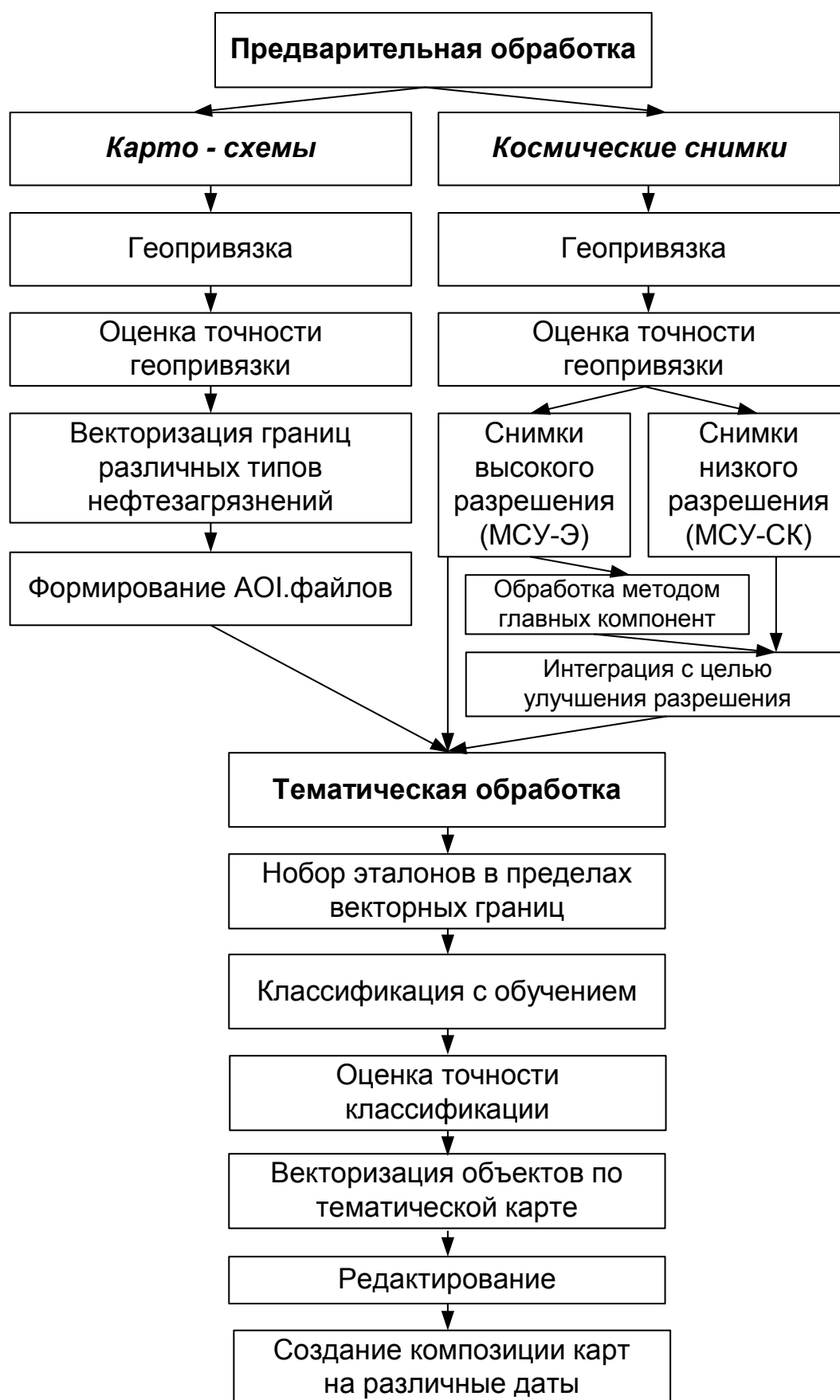


Рис. 1. Технологическая схема создания карт динамики по материалам разновременной аэрокосмической съёмки

При этом предварительная обработка состоит из двух различных этапов:

- Предварительная обработка имеющегося картографического материала мест нефтезагрязнений прошлых лет;
- Предварительная обработка аэрокосмической информации.

В данной работе в качестве инструмента обработки аэрокосмической информации выступает программный продукт ERDAS Imagine 8.7.

Предварительная обработка имеющегося картографического материала производится с целью создания эталонов нефтезагрязнений прошлых лет для проведения классификации с обучением по имеющимся аэрокосмическим материалам.

Для этого на начальном этапе необходима геопривязка к имеющимся космическим снимкам, с целью их совмещения в единой системе координат.

Геопривязка осуществляется с использованием инструмента *Image Geometric correction* ... программного продукта ERDAS Imagine. При этом от качества геопривязки карто-схем зависит точность определения границ нефтезагрязнений по аэрокосмическим снимкам.

В связи, с чем следующим этапом является оценка точности геопривязки карто-схем, которая определяется как СКО расхождений по координатам X и Y на контрольных точках.

В случае удовлетворения точности привязки карто-схем требованиям, предъявляемым к решению поставленных задач, приступают к векторизации границ эталонов, при этом используется инструмент *AOI / Tools* ...

Векторизация границ эталонов различных типов нефтезагрязнений производилась для каждого месторождения отдельно, кроме того, на исследуемую территорию имелись векторные карты объектов местности в формате MapInfo, которые импортировались в ERDAS Imagine.

Предварительная обработка аэрокосмической информации включает в себя:

- Атмосферную коррекцию разновременных многозональных космических снимков, полученных различными съёмочными системами;
- Перевод всех имеющихся космических данных в единую систему координат.

Атмосферная коррекция производится с целью устранения влияния атмосферной дымки для каждого космического снимка отдельно. При этом для каждого снимка влияние дымки оценивается по первому спектральному каналу, и, исходя из данной величины, вычисляется для всех остальных спектральных каналов. После вычитания рассчитанных величин из каждого спектрального канала в отдельности производится формирование единого синтезированного многозонального аэрокосмического изображения, скорректированного за влияние атмосферы.

Привязка в единую систему координат осуществляется так же с использованием инструмента *Image Geometric correction* ...

В качестве результирующей проекции выступает система координат космического снимка Landsat – 7 UTM / WGS 84, к которому производилась привязка всех имеющихся космических снимков с целью их совместного использования и сопоставления.

Обязательным этапом так же является оценка точности привязки.

В связи с тем, что снимки, полученные съёмочной системой Ресурс – 01 №3 сенсором МСУ – СК имеют большой охват территории, это позволяет осуществлять более глобальное изучение и повышает вероятность нахождения на них исследуемой территории. Однако данные снимки имеют низкое пространственное разрешение порядка 170 м, что не позволяет провести ряд детальных исследований мест нефтезагрязнений.

В данной работе предлагается дополнять снимки, полученные съёмочной системой Ресурс – 01 №3 (МСУ – СК) низкого пространственного разрешения информацией со снимков более высокого пространственного разрешения, полученных съёмочной системой Ресурс – 01 №3 (МСУ – Э), обработанных методом главных компонент.

При обработке изображений, полученных с Ресурс 01 №3 (МСУ – Э) использовался первый порядок главной компоненты с целью выделения наиболее характерных объектов местности – чётких границ и контуров [2].

Для создания совмещённого многозонального изображения, полученного датчиком МСУ – СК и изображения МСУ – Э, обработанного методом главных компонент использовался инструмент ERDAS Imagine – *Spatial Enhancement / Resolution Merge*. При этом применяется метод – *Multiplicative* и техника восстановления квантового сигнала – *Bilinear Interpolation*.

В результате проведения такой операции цветовые характеристики многозонального изображения переносятся со снимка, полученного сенсором МСУ – СК и сохраняется пространственное разрешение снимков, полученных датчиком МСУ – Э.

Тематическая обработка аэрокосмических снимков заключается в наборе эталонных областей различных типов нефтезагрязнений в пределах векторных границ нефтезагрязнений прошлых лет и проведении по ним автоматизированной классификации с обучением.

Результаты классификации подвергаются обязательной оценке точности по технологии, описанной в статье [3].

Если точность автоматизированной классификации удовлетворяет заданным требованиям, приступают непосредственно к векторизации границ различных типов нефтезагрязнений по созданному тематическому растру.

При этом используются различные инструменты векторизации *Vector / Tools ...*, реализованные в ERDAS Imagine.

После векторизации требуется корректировка полученного векторного слоя, так как могут возникать недоведения линий или пересечения.

Геометрическая корректность карт проверяется с использованием топологических характеристик объектов при помощи инструментов векторизации Erdas Imagine – *Vector/Vector Utilities /Clean Vector Layer* производится топологическая чистка пересечений. Затем в меню *Vector Utilities / Build Vector Layer Topology* строятся топологические отношения между объектами.

Оформление полученных векторных слоёв производится с использованием программного продукта Arc View 3.2. Для этого необходим импорт файлов с векторной информацией из формата *Arc Coverage* в *Shapefile*.

Создание композиции карт на разные даты производится с использованием инструмента Arc View – *Layouts*, при этом также существует возможность редактирования легенды векторных данных.

По данной технологии были созданы карты динамики нефтезагрязнений на месторождения Карамовское, Холмогорское и Пограничное Ханты-Мансийского автономного округа.

По полученным данным наглядно отображается динамика развития процессов нефтяного загрязнения в различные периоды времени на каждом месторождении в отдельности.

Интеграция данных различного пространственного разрешения позволяет дополнить банк данных разновременных космических снимков для более детального исследования ситуации на месторождении в различные периоды времени.

Полученные результаты позволяют создать реальную картину экологического состояния территории округа и дают возможность отслеживания динамики развития загрязнения окружающей природной среды продуктами добычи и переработки нефти.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа в 1998 году» [Текст]: обзор. – Ханты – Мансийск, 1999. – 155 с.
2. Лурье, И. К. Основы геоинформационного картографирования [Текст] / И.К. Лурье. – М., 2000. – 143 с.
3. Павленко, А.В. Автоматизированная оценка точности классификации объектов по аэрокосмическим снимкам [Текст] / А.В. Павленко // Сб. науч. тр. аспирантов и молодых учёных Сиб. гос. геодез. акад. / Под общ. ред. Т. А. Широковой. – Новосибирск, 2003. – С. 93 – 97.

© А.В. Павленко, А.Л. Макаручук, 2005

УДК 528.854

Е.П. Хлебникова

СГГА, Новосибирск

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КАЧЕСТВО ДЕШИФРИРОВАНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СНИМКОВ

Задачей настоящих исследований является разработка методов анализа изображения при проведении автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков с целью определения состояния водных объектов. Исходными материалами для проведения исследований являлись сканерный многозональный снимок, полученный съёмочной системой Landsat 7 и две картосхемы нефтезагрязнений. Эксперименты осуществлялись с использованием программного продукта ERDAS IMAGINE 8.6.

Проведённые ранее исследования [1,2] показали, что исходное качество изображений оказывает значительное влияние на результаты

автоматизированного дешифрирования природных объектов по многозональным снимкам. Поэтому в настоящей работе был проведен анализ методов предварительной обработки изображений и сравнение полученных результатов с целью выбора наиболее оптимального решения поставленной задачи.

Процедуры предварительной обработки изображений делят на геометрические и яркостные, которые исследовались в данной работе. Цель предварительной обработки изображений в этом случае состояла в повышении их изобразительного качества. Однако понятие качества изображения в каждом отдельном случае зависит от конкретной решаемой задачи [3,4]. Так как основной задачей исследований является определение состояния водных объектов и выявление их загрязнений нефтепродуктами, то все исследованные методы рассматривались с этой точки зрения.

Существует ряд способов улучшения качества изображения. Наиболее распространённый из них – контрастирование. При контрастировании изменяется яркость каждого элемента изображения и увеличивается диапазон яркостей. Из имеющихся методов контрастирования были исследованы:

- Линейная растяжка гистограммы;
- Нелинейная растяжка гистограммы в интервале яркостей, соответствующих водным объектам;
- Выравнивание гистограммы;
- Подчёркивание контуров.

В ходе проведения экспериментов использованы изображения в четырех каналах исходного снимка Landsat 7 (0,45-0,52; 0,52-0,60; 0,63-0,69; 0,76-0,90 мкм), для которых были применены все указанные методы контрастирования, а затем проведено их синтезирование в новые 4-х каналные изображения. По полученным синтезированным изображениям проведено автоматизированное дешифрирование водных объектов методами неконтролируемой и контролируемой классификации.

В большинстве случаев дешифрирование объектов типа "вода" и "не вода" происходило достаточно надежно, однако классификация состояний самих водных объектов была затруднительна. Это можно объяснить следующим. Яркостные характеристики водных объектов в природе достаточно близки даже при наличии в них различных примесей, а применённые методы предварительной обработки не обеспечили достаточного увеличения диапазона значений яркости пикселей, соответствующих изображениям водных объектов в разных состояниях.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что применение указанных методов контрастирования изображений не обеспечивает создания качественного эталона для определения различных состояний водных объектов методами автоматизированного дешифрирования.

Для решения этой проблемы был проведен следующий эксперимент.

Изображения в четырех каналах исходного снимка Landsat 7 были преобразованы из позитивных в негативные. Преобразование подобного рода называется инвертированием.

Инвертированием был достигнут большой разброс значений яркостей, соответствующих различным водным объектам, чем на исходных изображениях и изображениях, полученных другими методами предварительной обработки. В таблице приведены максимальные и минимальные значения яркостей водных объектов на исходном и инвертированном изображениях.

Из табл. 1 видно, что для 2-го канала разница разброса значений яркостей, соответствующих водным объектам на позитивном изображении (11 градаций) и на негативном (75 градаций) стала значительно большей. На рис. 1 представлены позитивное и негативное изображения во 2-м канале снимка Landsat 7.

Далее было получено синтезированное инвертированное изображение. При его автоматизированном дешифрировании стало возможным более детальное определение состояния водных объектов. Так при неконтролируемой классификации прямого изображения на 25 классов к водным объектам отнесено 4-5 классов, а инвертированного – 14-15 классов.

Таблица 1. Максимальные и минимальные значения яркостей водных объектов на исходном и инвертированном изображениях

Канал	Исходное изображение		Инвертированное изображение	
	Min	Max	Min	Max
1	53	63	77	208
2	32	43	49	124
3	23	55	47	219
4	9	24	16	112

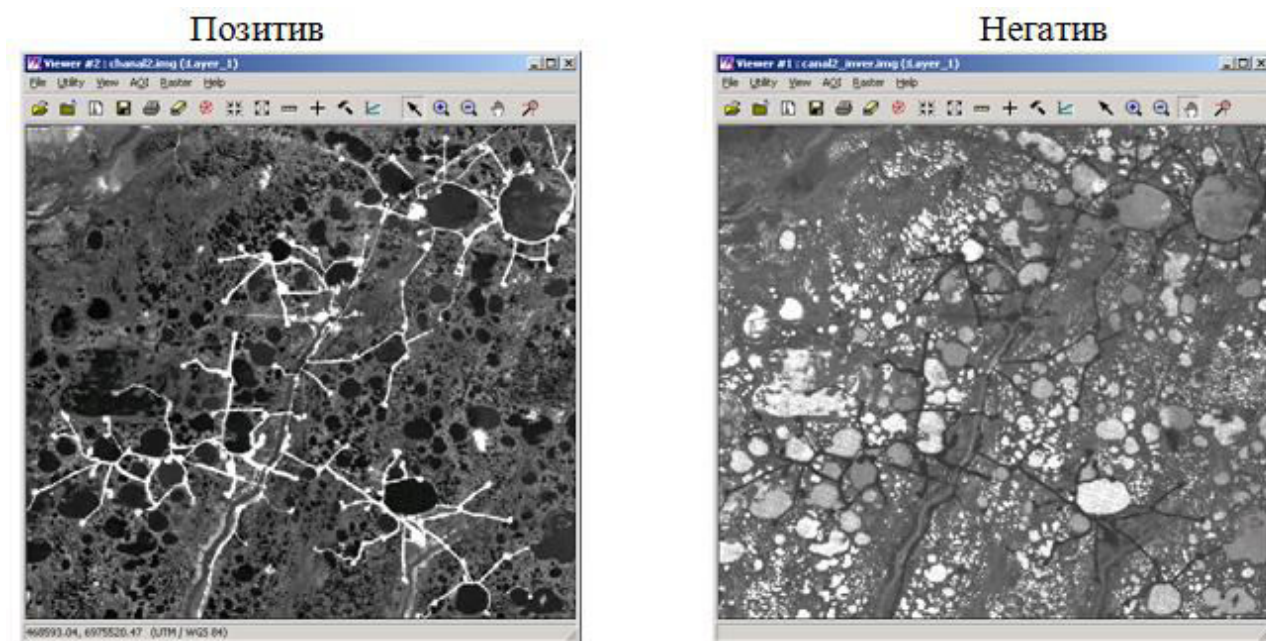


Рис. 1. Позитивное и негативное изображения во 2-м канале съёмочной системы Landsat 7

Увеличение диапазона яркостей, соответствующих изображениям водных объектов в каждом канале, привело к значительному расширению цветовой

палитры изображений озер разного состояния, что позволяет увеличить достоверность визуального дешифрирования.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при помощи инвертирования изображений можно получить гораздо больше информации о состоянии водных объектов, чем при дешифрировании прямого изображения. Однако следует подчеркнуть, что этот метод не пригоден для изучения большинства других природных и антропогенных образований по многозональным снимкам, так как разброс значений яркостей изображений этих объектов после инвертирования значительно сокращается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хлебникова Е.П. Применение космических снимков для распознавания загрязнений водных объектов // Сборник научных трудов аспирантов и молодых учёных Сибирской государственной геодезической академии, 2003. – С. 25 – 30.
2. Хлебникова Е.П. Разработка методики выбора эталонов при автоматизированном дешифрировании многоканальных снимков // Современные проблемы геодезии и оптики: Сб. материалов ЛП международной науч.-технической конф., посвященной 70-летию СГГА. 11-21 марта 2003 г. Ч. II / СГГА. – Новосибирск, 2003. – 324 с. – С. 104 – 106.
3. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. – М.: Логос, 2001. – 264 с.: ил.
4. Лабутина И.А. Дешифрирование космических снимков: Учебное пособие. – М.: Аспект Пресс, 2004 – 184 с., 8 с. цв.вкл.

© Е.П. Хлебникова, 2005

УДК 528.7: 681.325

Ю.В. Никитина

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СНИМКОВ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Важной составной частью биосферы является лесная растительность. Однако в лесах периодически возникают пожары, вспышки массового размножения насекомых-вредителей, нередко распространяющиеся на большие площади и оказывающие влияние на продуктивность и стабильность природных комплексов. Для учёта состояния лесов, их динамики и составления прогнозов на будущее необходимо использовать материалы аэрокосмической съёмки, позволяющей выполнить большой региональный охват территорий.

В ходе проведения научных исследований разработана технология мониторинга динамики лесных экосистем, основанная на использовании материалов аэрокосмической съёмки, ГИС-технологий, методов цифровой обработки изображений, математического моделирования биологических процессов в экосистемах, представленная в работе [1].

По одному из вариантов технологии с использованием ГИС MapInfo и материалов спектральной аэросъёмки, выполненной аэрофотоаппаратами АФА-41/10 и MRB-15, созданы тематические карты нарушения лесных территорий Сургутского лесхоза пожарами и состояния экосистемы района Лянторского нефтяного месторождения Сургутского района масштаба

1 : 25 000. С использованием ГИС ERDAS IMAGINE и многозональных космических снимков, полученных со спутника Ресурс-01 №3 (съёмочная система МСУ-Э), создана тематическая карта состояния экосистемы Сузунского бора Новосибирской области масштаба 1 : 200 000.

Наиболее трудоёмким процессом при создании экологических карт по снимкам является процесс дешифрирования лесных территорий различных типов и состояний. Для оперативного распознавания объектов и явлений на многозональных снимках требуется автоматизация процесса дешифрирования. Несмотря на относительно недавнее внедрение автоматизированного дешифрирования аэрокосмических изображений, сложилась довольно устойчивая, традиционная, методика его проведения. Путём идентификации элементов изображения и материалов полевого дешифрирования формируются обучающие выборки. С использованием методов статистического анализа производится обработка обучающей выборки и формируется её компактное описание, которое называют обучающим эталоном. Обучающие эталоны используют для классификации изображения, т.е. для принятия решения о принадлежности его элементов к тому или иному классу. Недостатки такой технологической схемы заключаются в том, что из-за особенностей формирования изображения каждый отдельно взятый снимок отличается от других, поэтому обучающие эталоны для их дешифрирования приходится создавать заново. Ошибки при формировании эталонов приводят к ошибочным результатам классификации объектов.

Одной из задач данной работы является разработка методики автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков, позволяющей уменьшить трудоёмкость формирования обучающих эталонов, повысить достоверность распознавания объектов и обеспечить повторяемость результатов при обработке снимков, полученных в разных условиях. Предлагается несколько вариантов методики дешифрирования снимков.

Первый вариант методики дешифрирования основан на том, что часть объектов (опорные классы) на снимке i уверенно дешифрируются визуально на основе опыта дешифровщика (рис. 1). К таким объектам, например, относятся: реки, озёра, дороги, леса и др. Первоначально создается «образцовый» эталон с использованием результатов полевого дешифрирования, затем формируется эталон по опорным классам снимка i . Из сопоставления эталонов определяется функция зависимости параметров эталонов (f_i), сформированных по разным снимкам. С помощью этой функции можно преобразовать параметры «образцового» эталона для дешифрирования других снимков. Ограничения данного варианта методики состоят в том, что ее можно использовать для классификации снимков, полученных только одной съёмочной системой.

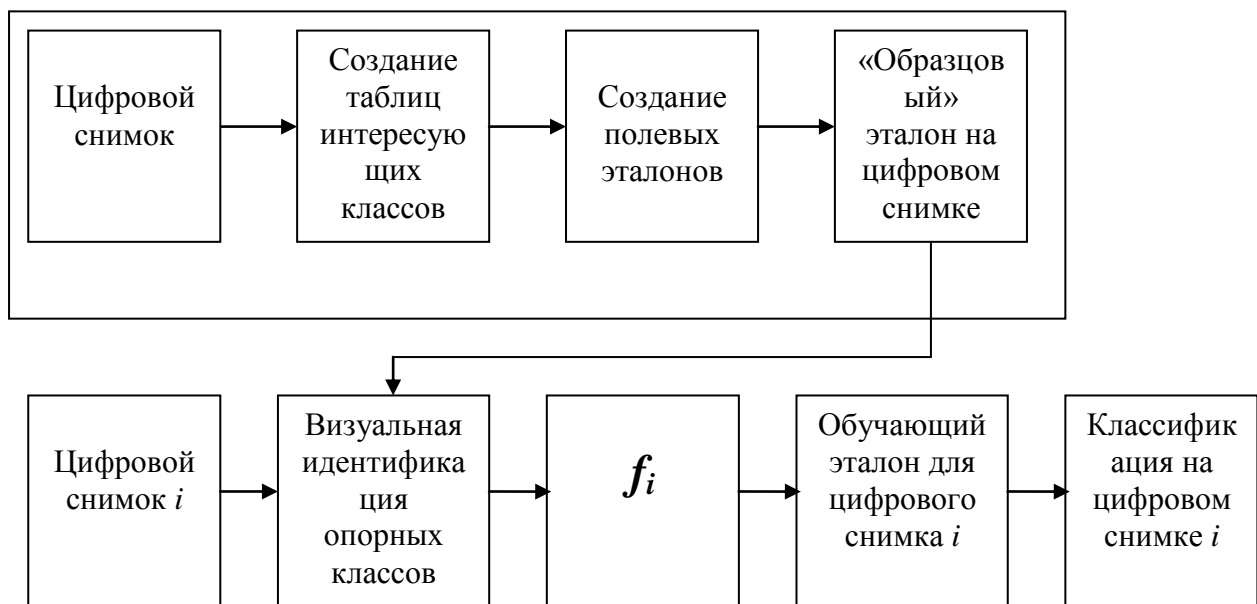


Рис. 1. Методика дешифрирования, основанная на визуальном сопоставлении опорных классов

Если снимки перекрываются, то можно не выполнять визуальную идентификацию опорных классов. В этом случае вид функции пересчёта (f_i) можно определить на основе анализа яркостей перекрывающихся зон снимков. Недостатком данного варианта методики является то, что она позволяет дешифрировать снимки, полученные одной съёмочной системой и имеющие перекрытие.

Данные варианты методики значительно отличаются от традиционного, требуют гораздо меньшего объёма полевых работ и являются более производительными.

В работе также предлагается вариант методики дешифрирования многозональных снимков, исключая необходимость создания эталонов полевыми методами (рис. 2). Сущность методики заключается в следующем. Для многих объектов местности существуют данные об их спектральных свойствах – отражательной способности, индикатрисе рассеяния и др. Данный вариант методики предполагает на основе этой информации выполнять построение модели переноса солнечного излучения на датчики съёмочной системы и расчет яркости изображения объектов в заданных зонах спектра при определённых условиях съёмки. Полученная информация рассматривается как некоторый энергетический образ объекта, который используется в качестве эталона для дешифрирования снимков. При моделировании эталон может быть представлен отдельными значениями яркостей объектов или ковариационной матрицей, характеризующей изменение яркостей объектов в разных зонах спектра. Затем выполняется преобразование энергетических параметров сформированного эталона в значения яркостей пикселей обрабатываемого снимка. Данный вариант методики позволяет проводить дешифрирование снимков, полученных различными съёмочными системами, но предполагает

наличие достаточно полной базы данных о коэффициентах спектральной

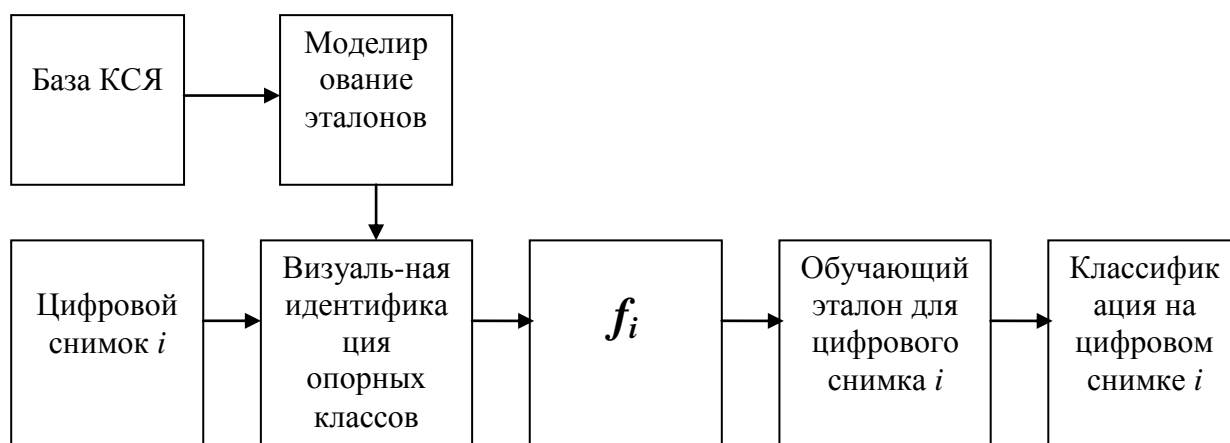


Рис. 2. Методика дешифрирования, основанная на моделировании эталонов по КСЯ объектов и визуальном сопоставлении опорных классов

яркости (КСЯ) объектов.

Во всех рассмотренных вариантах методик отождествление опорных объектов на снимке i для определения функции преобразования яркостей осуществляется дешифровщиком.

В работе предлагается четвёртый вариант методики классификации, основанный на использовании для формирования эталонов базы коэффициентов спектральной яркости объектов, но отождествление объектов эталона и снимка осуществляется автоматически. При этом выделение объектов на снимке может выполняться по алгоритмам кластеризации.

В работе проведено исследование предложенных методик повышения достоверности автоматизированного дешифрирования многозональных снимков, основанных на визуальном сопоставлении опорных классов с использованием результатов полевого обследования (рис. 1) и на моделировании эталонов по коэффициентам спектральной яркости объектов (рис. 2).

Сначала проводились исследования по определению характера изменения яркостей элементов изображения объектов одних и тех же классов на трёх одновременных многозональных космических снимках, полученных в летний период съёмочной системой МСУ-Э со спутника Ресурс-О1 №3 на территорию Сузунского бора Новосибирской области.

Для этого на исходных снимках были созданы 8 эталонов: «Сосна», «Река», «Озеро», «Гарь», «Болото 1», «Болото 2», «Кустарник» и «Сельхозугодия». Затем значения яркостей соответствующих эталонов были сопоставлены между собой с помощью электронной таблицы Excel. Сопоставление производилось для каждой пары снимков и каждого канала съёмочной системы отдельно, в результате чего выявлен линейный характер зависимости между яркостями элементов изображения разных снимков. В соответствии с параметрами

выявленной функции проведено преобразование эталонов одних снимков для дешифрирования других и их классификация в ГИС ERDAS IMAGINE.

Для моделирования процесса формирования изображения конкретной съёмочной системой в разных ландшафтных зонах разработана программа «Spectr». В программе с учётом особенностей съёмочной системы, условий съёмки и КСЯ тестируемых классов объектов рассчитываются отклики от датчиков съёмочной системы по каждому из каналов, образуя наборы измерений в пространстве признаков. В работе исследована возможность использования информации о КСЯ объектов и программы «Spectr» для формирования эталонов для дешифрирования снимков. Для описания классов создана база данных спектральных коэффициентов яркости более 400 объектов. Эталоны для дешифрирования сформированы на основе откликов от датчиков съёмочных систем, рассчитанных по КСЯ моделируемых классов.

На основе проведённых экспериментов, в результате которых выявлен линейный характер зависимости между яркостями элементов изображения на разных снимках, сделано предположение, что функция зависимости между эталонами из программы «Spectr» и эталонами на реальных космических сканерных снимках является также линейной вида $y=ax+b$. Для проверки соответствия эталонов функциональная зависимость была подобрана в интерактивном режиме с использованием большого числа объектов, изображённых на снимке и сформированных по КСЯ. Вначале графически, для каждой пары каналов в отдельности, отображались смоделированные по КСЯ яркости объектов с учётом коэффициентов преобразования и яркостные характеристики этих же объектов на снимке. Затем производился более точный подбор коэффициентов функции перехода путём совмещения графических образов объектов, смоделированных на основе КСЯ и изображённых на снимке. Относительные расхождения между яркостями соответствующих объектов со снимка и смоделированными по базе КСЯ составили от 10 до 20%, что свидетельствует о работоспособности разработанной методики дешифрирования снимков.

В ходе экспериментов также исследовалось влияние атмосферы на формирование эталонов по КСЯ объектов. В качестве модели атмосферы использовалась однослойная двухпараметрическая модель, рассмотренная в работе Шифрина, Минина [2]. Данная модель атмосферы не учитывает отличие спектра солнечного излучения от излучения абсолютно чёрного тела и поглощение излучения компонентами атмосферы (водяным паром, углекислым газом, озоном). Основным допущением, сделанным в ходе экспериментов, является предположение о постоянстве атмосферных условий при формировании всего изображения (яркость дымки, коэффициент пропускания атмосферы, угол визирования). Относительные расхождения между смоделированными яркостями эталонов, рассчитанными для различных типов атмосферы и без учета влияния атмосферы, составили не более 1 %.

По результатам проведённых экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Спектральные характеристики однотипных объектов на различных снимках, полученных съёмочной системой МСУ-Э, не идентичны, но при этом сохраняется четкая линейная зависимость между яркостями этих объектов, что позволяет использовать эталоны, созданные по одному снимку, для дешифрирования других;

2. При формировании эталонов для дешифрирования снимков МСУ-Э можно не учитывать влияние атмосферы, описываемой моделью [2], так как функциональная зависимость вида $y = ax + b$ компенсирует систематическое влияние атмосферной дымки (коэффициентом b) и ослабление средней величины лучистого потока атмосферой (коэффициентом a). Модель атмосферы должна предполагать изменение спектра солнечного и отражённого земной поверхностью излучения, особенно в зонах поглощения. В данных исследованиях оно не учитывалось, так как выполнялось дешифрирование изображений, сформированных съёмочной системой МСУ-Э, работающей в оптическом диапазоне, а зоны поглощения излучения находятся преимущественно в инфракрасной области спектра;

3. Разработанная методика создания эталонов для дешифрирования, основанная на моделировании процесса формирования изображения по коэффициентам спектральной яркости объектов, позволяет повысить достоверность дешифрирования многозональных космических снимков при отсутствии данных наземного обследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитина Ю.В. Разработка и исследование технологии изучения динамики лесных экосистем [Текст] / Ю.В. Никитина // Вестник Сибирской государственной геодезической академии / СГГА. – Вып. 6. – Новосибирск, 2001. – С. 101-111.

2. Шифрин К.С. К теории негоризонтальной видимости [Текст] / К.С. Шифрин, И.Н. Минин // Тр. Гл. геофиз. обсерватории им. А.И. Войекова. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – Вып. 68. – С. 5 – 75.

© Ю.В. Никитина, 2005

УДК 528.9

Б.Т. Курбанов, Б. Жураев, А. Примов, Ф. Саидханова, Б. Диметов
НЦГиК, Ташкент

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕРЕООБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ПРИ РЕШЕНИИ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ В УЗБЕКИСТАНЕ

Республика Узбекистан является, прежде всего, аграрной республикой. Основные валютные поступления в республику связаны с продажей хлопка. Основная доля сельскохозяйственной продукции поставляется с орошаемых территорий. Занимая около 10% от всей территории республики, она дает свыше 90 % сельскохозяйственной продукции. Однако резервы увеличения орошаемых территорий в республике практически исчерпаны. Главной причиной является дефицит водных ресурсов. Следует также отметить, что для сельскохозяйственного сектора все острее встает вопрос о плодородии почв. При достаточно высоком приросте населения и практически исчерпанных ресурсах увеличения площади орошаемого земель все острее встает вопрос о

более рациональном использовании природных ресурсов, и в первую очередь водных и земельных. Решение указанных проблем требует привлечения современных информационных технологий, опирающихся на использование материалов дистанционного зондирования.

Для решения указанных задач, а также для создания и обновления топографических карт и планов, разработки земельно-кадастровых карт, а также решения ряда других народнохозяйственных задач Государственный комитет Республики Узбекистан по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру был оснащен современным оборудованием и технологиями корпорации INTERGRAPH и LEICA GEOSYSTEMS. Была также приобретена аэрофотокамера LEICA RC-30, оснащенная управляющим компьютером ASCOT с GPS-приемником. Камера оснащена гиросtabilизирующей платформой и в настоящее время установлена на самолет АН-2. в будущем планируется установить камеру на самолет с более высоким потолком полета и менее подверженному болтанке.

Система фотограмметрической обработки изображений ImageStation, включает в себя фотосканер PhotoScan, Scan Server, рабочую станцию ImageStation с системой стереонаблюдений.

PhotoScan позволяет производить сканирование цветных и черно-белых снимков, позитивов и негативов с разрешением до 7 мкм и геометрической точностью 1 мкм, что является достаточным по точности и разрешающей способности для решения вышеобозначенных задач.

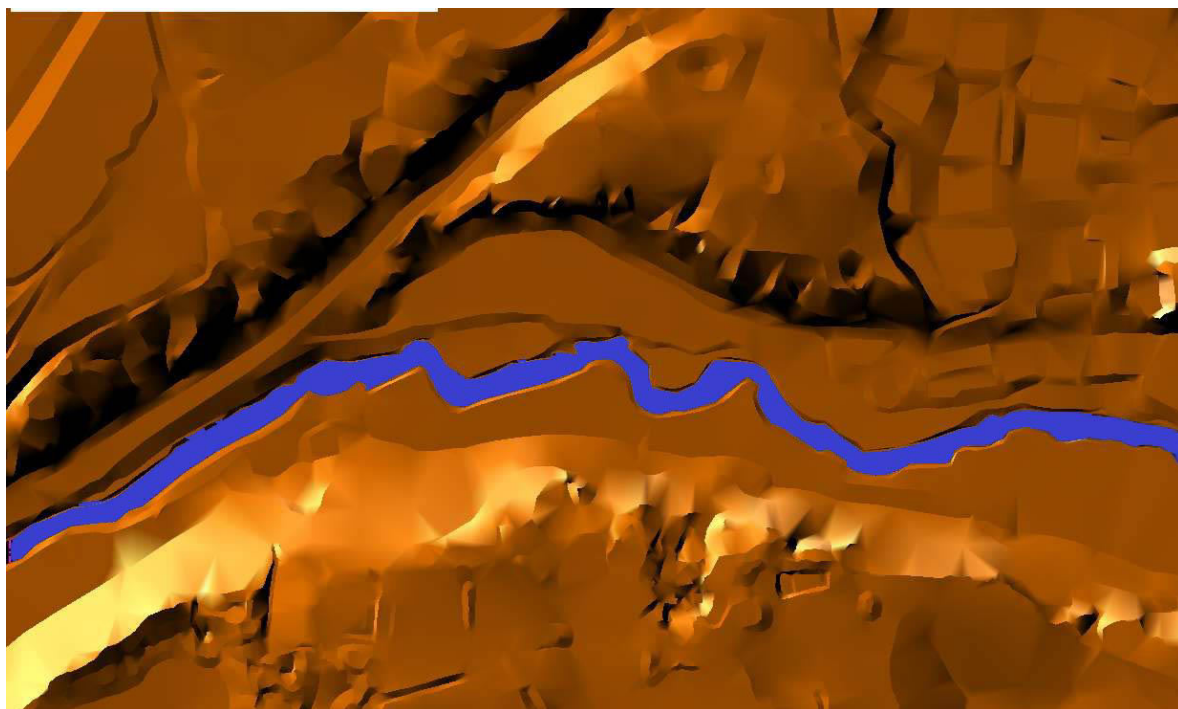
Система ImageStation позволяет производить построение стереомodelей, цифровой модели рельефа, ортофототрансформирование и построение ортофотопланов, создание цифровых трехмерных моделей местности для компьютерного псевдообъемного отображения и ряд других стандартных для аналогичных систем процедур.

Для выполнения процедур стереообработки изображений аэрофотосъемка проводилась с продольным перекрытием 60% и поперечным перекрытием 40%. Для создания и ведения автоматизированной системы земельного кадастра к настоящему времени созданы ортофотопланы масштаба 1:10000 на орошаемую территорию Республики Каракалпакстан, Андижанской и Наманганской областей, а также Джизакскую область. Ортофотоплан по метрической точности соответствует графическому плану, но благодаря фотоизображению дает более полную информацию об объектах, изображенных на ней.

В настоящее время завершены работы по созданию электронно-цифровых планов г. Самарканд масштаба 1:2000, разработанные на основе стереообработки материалов аэрофотосъемки. Использование стереоснимков позволило более точно проводить оцифровку объектов картографирования, и прежде всего зданий и сооружений. Оцифровка их проводилась по контуру крыши и сдвигалась к ее основанию. Для создания цифровых планов был разработан Банк условных знаков, по своим геометрическим параметрам максимально приближенных к условным знакам в соответствии с требованиями к цифровым картам и планам соответствующих масштабов.

Возможности станции позволяют создавать карты всех масштабов, при этом их точность и полнота соответствуют всем требованиям, предъявляемым к топографическим картам соответствующего масштаба.

На рис. 1 представлен фрагмент ортофотоплана г. Самарканд. На рис. 2 представлен результат создания трехмерной цифровой модели. На рис. 3 представлен цифровой план на трехмерной растровой подложке.



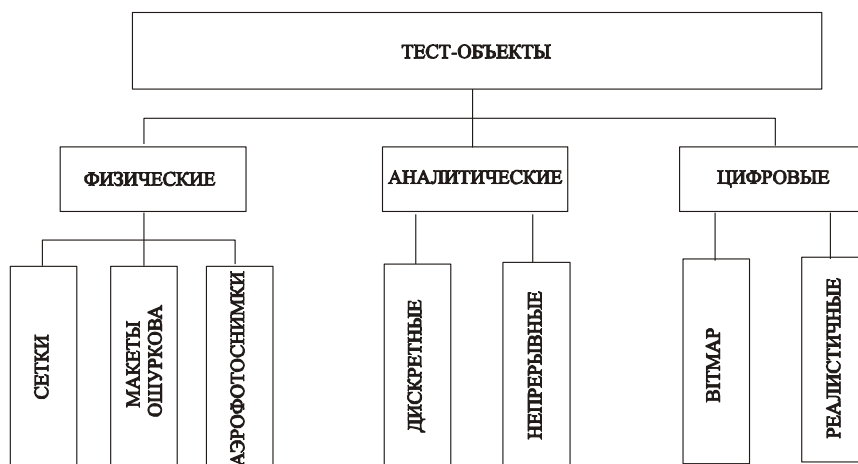


Рис. 1. Тест-объекты для исследования инструментальной точности и правильности работы алгоритмов фотограмметрических систем

При формировании аналитических макетных снимков предложено использовать непрерывную цифровую модель рельефа (ЦМР). При заданных элементах внутреннего и внешнего ориентирования снимков, образующих стереопару, в единой с ЦМР системе координат устанавливается однозначное соответствие между снимками и моделью местности. Аналитические непрерывные снимки-макеты создаются с помощью специальной программы на компьютере, обладают непрерывностью поля моделирования, позволяют оперативно изменять параметры моделирования снимков и точность измерений, и сравнивать одновременно различные алгоритмы обработки. При вычислениях координат точек снимков и ЦМР ведущим является левый снимок. Задавая координаты любой точки левого снимка, с высокой точностью определяется положение этой точки на местности, а затем ее координаты на правом снимке. Предлагаемый алгоритм позволяет выполнять все процессы построения геометрической модели местности: внутреннее, взаимное и внешнее ориентирование снимков, а также процесс измерения построенной модели. Тем самым имитируется процесс работы на аналитическом универсальном приборе или на стереоплоттере. Алгоритм позволяет вводить любые ошибки в координаты точек снимков и моделировать погрешности измерений.

В аналитических макетах изображение снимков не формируется, но на экране монитора в процессе измерений координат точек в реальном времени выдается вся необходимая информация для оценки точности обработки и контроля, а также составляется полный отчет результатов моделирования в электронном виде.

Битовые макетные снимки представляют собой поля цифровых изображений Bitmap с замаркированными точками, например, в среде растровой графики Photoshop, и аналогичны снимкам-макетам Ошуркова. Координаты точек изображений вычисляются с использованием аналитических зависимостей между координатами точек снимка и местности, с последующим переводом в систему цифрового изображения. Однако точность Bitmap-

изображений заданного разрешения ограничена из-за целочисленного представления значений координат точек (пикселей), но может быть повышена за счет уменьшения размера раstra. Преимущества битовых макетных снимков заключаются в простоте создания, в малом размере готовых файлов. Они могут быть использованы, например, для быстрой оценки правильности работы алгоритма стереоплоттера на начальных стадиях разработки.

Реалистичные макетные снимки являются наилучшими тест-объектами для исследования цифровых фотограмметрических систем. Имея такие снимки, можно решать следующие задачи:

- Контроль измерений координат любой точки геометрической модели местности;
- Контроль определяемых параметров модели или снимков на всех этапах построения;
- Контроль качества цифрового ортотрансформирования;
- Контроль построения ЦМР;
- Обучение оператора работе на цифровом стереоплоттере.

Кроме того, появляется возможность произвести априорную оценку точности фотограмметрической обработки снимков при картографировании местности.

При работе с реалистичными изображениями, в отличие от других макетных снимков, возникает наиболее полная имитация наблюдения реальных стереоизображений.

Современные средства программирования позволяют решить задачу моделирования реалистичных изображений трехмерных сцен. Трехмерной сценой называют математическую модель пространственного объекта с указанием источника освещения [2] (рис. 2). В качестве пространственного объекта возьмем земной ландшафт, который представим в памяти компьютера в виде некоторой математической модели, описывающей геометрические и оптические свойства его поверхности.

В целом процесс моделирования реалистичных изображений включает в себя создание нескольких математических моделей:

- Геометрической модели поверхности объекта, заданной в виде ЦМР, а также параметров, задающих оптические свойства поверхности (коэффициенты спектральной яркости объектов, индикатриса рассеяния и т.д.);
- Модели съемочной системы с заданными геометрическими свойствами и параметрами съемки;
- Модели источника освещения (Солнца);
- Модели атмосферы.

Важным фактором формирования изображений является скорость работы алгоритма. Большая часть времени расходуется на так называемое трассирование лучей [3]. В данной разработке используется метод, позволяющий исключить трассирование при формировании изображения, и тем самым значительно повысить скорость работы алгоритма. Его сущность заключается в построении ЦМР в системе координат снимка, что позволяет

быстро находить положение точки на местности по ее координатам на снимке. При этом используется единый подход к формированию ЦМР на местности и на снимке с применением ортонормированных полиномов Чебышева.

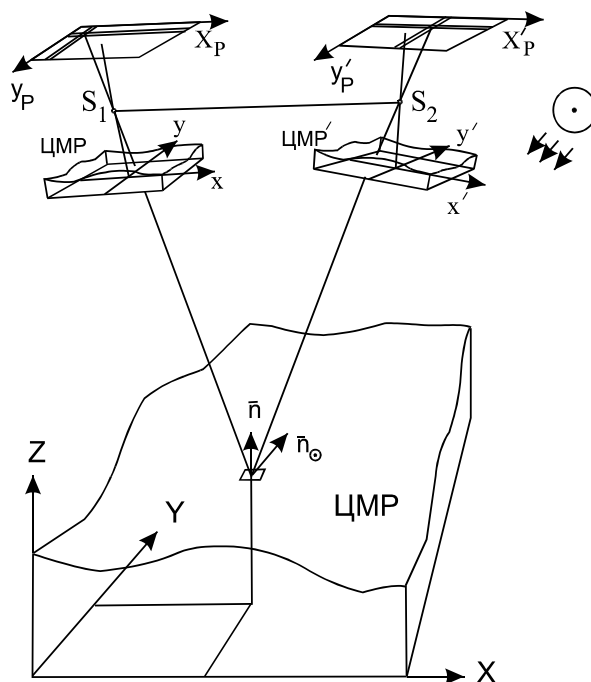


Рис. 2. Трехмерная сцена

Съемочная система представлена в виде двух сопряженных камер (см. рис. 2). Нижняя камера является идеальной камерой, т.е. она не вносит никаких искажений в формирование изображения и служит для определения положения точки местности заданной на снимке. Также в системе координат этой камеры строится ЦМР.

Вторая камера служит для синтеза цифрового изображения. Кроме того, здесь могут вводиться любые виды искажений в координаты точек снимка (дисторсия, деформация, случайные ошибки и т.п.). При синтезе изображения используются метод сканирующей строки и законы геометрической оптики.

Разработан комплекс алгоритмов и программ, позволяющих создавать реалистичные изображения, которые отличаются высокой геометрической точностью и наличием данных на всех этапах построений.

Маркировка опорных точек на цифровых снимках

Другой проблемой при работе на стереоплоттере SDS явилось обнаружение наколов опорных точек на цифровых снимках при внешнем ориентировании модели.

В ряде случаев на растровых цифровых изображениях наколы точек не видны по разным причинам, например: слабый накол, накол под углом к эмульсии, тон изображения накола совпадает с тоном фона вокруг точки и т.д. Поэтому предлагается маркировать такие точки на цифровых снимках (рис. 3).



Рис. 3. Фрагменты маркировки точек на цифровых снимках

Исходными данными для маркировки служат координаты точек и координатных меток, полученные в результате измерений на стереокомпараторе при выполнении фототриангуляции. Далее, по формулам аффинных преобразований перевычисляются координаты точек из системы координат фотографического снимка (или прибора) в систему координат его цифровой копии. Коэффициенты аффинных преобразований находятся по координатам координатных меток в системах координат цифрового и фотографического снимков. Маркировка выполняется в среде растровой графики Photoshop.

Определение элементов внешнего ориентирования модели по ЦМР

В ряде случаев при обновлении или создании новых топографических карт используются координаты опорных точек измеренные на карте. Но если карты очень старые, и местность имеет мало четких контуров, возникает проблема с поиском таких опорных точек. Число их бывает недостаточно для внешнего ориентирования геометрической модели, построенной по паре снимков.

Предлагается использовать для внешнего ориентирования модели ЦМР. Для этого строятся две ЦМР, по измеренным координатам X, Y, Z точек свободной геометрической модели и координатам точек, полученным с карты на один и тот же локальный участок местности с использованием полинома вида [4]:

$$P^R(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \bar{a}_{ij}^R \hat{T}_i(x) \hat{T}_j(y),$$

где $\bar{a}_{ij}^R$ - коэффициенты полинома; $\hat{T}_i(x), \hat{T}_j(y)$ - ортонормированные полиномы Чебышева, i и j указывают на степень полинома.

После этого две ЦМР совмещаются путем последовательных перемещений одной из них по осям X и Y с малым шагом. При этом оценивается степень максимального совпадения участков с одинаковым рельефом по максимальному значению коэффициента корреляции:

$$K = \frac{\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \bar{a}_{ij}^R \hat{T}_i(x) \hat{T}_j(y) \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij}^R \hat{T}_i(x) \hat{T}_j(y) \right) dx dy}{\|\bar{P}\| \cdot \|P\|},$$

где $\|\bar{P}\|$ и $\|P\|$ - соответственно нормы полиномов первой и второй ЦМР.

При каждом шаге перемещения подвижной ЦМР необходимо выполнять также вращения модели вокруг трех осей и изменять масштаб. Собственно перемещения ЦМР не происходит, а каждый раз она строится заново при изменении начала системы координат, в которой была построена по тем же пикетам поверхности рельефа. Когда модели совмещены с максимальным

значением K , определяются координаты опорных точек в этой зоне в системах координат свободной геометрической модели местности и карты. Таких локальных участков в зоне перекрытия снимков намечается несколько для лучшего ориентирования модели по опорным точкам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коркин В.С. Разработка макетных снимков для тестирования цифровых фотограмметрических систем // Современные проблемы геодезии и оптики: Материалы междунар. научн.-техн. конф., посвящ. 65-летию СГГА – НИИГАиК, 23-24 нояб. 1998 г. – Новосибирск: СГГА. с. 62-69.
2. Имитационное моделирование в задачах оптического дистанционного зондирования / Креков Г.М., Орлов И.М., Белов В.В. и др. - Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1988. - 165 с.
3. Иванов В.П., Батраков А.С. Трехмерная компьютерная графика / Под ред. Г.М. Полищука. - М.: Радио и связь, 1995. - 224 с.
4. Журкин И.Г., Коркин В.С. Об одном подходе к построению цифровой модели рельефа // Изв. вузов Геодезия и аэрофотосъемка - 1983.-№ 4 - с. 66-71.

© В.С. Коркин, 2005

УДК 528.72

В.С. Коркин

СГГА, Новосибирск

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРТОНОРМИРОВАННЫХ ПОЛИНОМОВ ЧЕБЫШЕВА

Предлагается алгоритм построения цифровой модели рельефа (ЦМР) по нерегулярной сетке исходных точек, с соблюдением непрерывности моделируемой поверхности.

Пусть в некоторой области Ω_R в N точках с координатами $X_K^R, Y_K^R \in \Omega_R$ измерены значения неизвестной функции рельефа $f(x,y)$, определенной на всей области моделирования $\Omega = \bigcup_{i=1}^n \Omega_i$, где $\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset$ для $\forall i, j$.

Будем аппроксимировать данную функцию бикубическим полиномом:

$$P^R(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \bar{a}_{ij}^R \hat{T}_i(x) \hat{T}_j(y), \quad (1)$$

где $\bar{a}_{ij}^R$ - неизвестные коэффициенты; $\hat{T}_i(x), \hat{T}_j(y)$ - ортонормированные полиномы Чебышева, получены путем нормирования полиномов Чебышева i -го рода: $T_0(x) = 1$, $T_1(x) = x$, $T_2(x) = 2x^2 - 1$, $T_3(x) = 4x^3 - 3x$, номера i и j указывают на степень полинома.

Согласно методу наименьших квадратов запишем функционал

$$\Phi = \sum_{K=1}^N (f^R(x_K, y_K) - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \bar{a}_{ij}^R \hat{T}_i(x_K) \hat{T}_j(y_K))^2 = \min. \quad (2)$$

Дифференцируя функционал (2) по неизвестным, получим систему нормальных уравнений, после решения которой найдем коэффициенты $\bar{a}_{ij}$.

Для решения поставленной задачи разобьем область Ω на ячейки Ω_R , имеющие форму квадратов (прямоугольников).

В каждой ячейке сетки аппроксимация выполняется независимо друг от друга. После нахождения неизвестных коэффициентов $\bar{a}_{ij}$ переходим ко второму этапу моделирования. На этом этапе выполняется аппроксимация по алгоритму, изложенному в [1], полиномом вида

$$P(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} \hat{T}_i(x) \hat{T}_j(y). \quad (3)$$

Отличие состоит только в том, что аппроксимировать будем не функцию рельефа, представленную дискретно, а уже полученную функцию (1), которая непрерывна на каждом элементарном участке Ω_R .

Запишем минимизируемый функционал и условие непрерывности на границах элементарных участков Ω_R

$$\Phi = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \bar{a}_{ij}^R \hat{T}_i(x) \hat{T}_j(y) - \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij}^R \hat{T}_i(x) \hat{T}_j(y) \right)^2 dx dy = \min \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=0}^3 a_{ij}^R \hat{T}_i(-1) - b_j^r &= 0 \\ \sum_{i=0}^3 a_{ij}^R \hat{T}_i(1) - b_j^{l+1,r} &= 0 \quad (j = 0, \dots, 3) \\ \sum_{j=0}^3 a_{ij}^R \hat{T}_j(-1) - a_i^{l,r} &= 0 \\ \sum_{j=0}^3 a_{ij}^R \hat{T}_j(1) - a_i^{l,r+1} &= 0 \quad (i = 0, \dots, 3) \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5):

$\bar{a}_{ij}$ - коэффициенты полинома, полученные из первой аппроксимации; a_{ij} - искомые коэффициенты полинома; $\hat{T}_i(-1), \hat{T}_j(1)$ - значения полиномов Чебышева на границах элементарного участка; b_j, a_i - коэффициенты полиномов профилей, полученных по линиям сетки.

Перед тем, как решать задачу вторичной аппроксимации, предварительно строится сетка профилей. Полиномы, аппроксимирующие функцию рельефа по линиям сетки, получают из выражения (1) путем фиксирования одной из координат $x = d_e$ или $y = c_r$.

По линиям сетки, параллельным осям x и y имеем

$$P(x) = \sum_{i=0}^3 a_i \hat{T}_i(x), \quad P(y) = \sum_{j=0}^3 b_j \hat{T}_j(y), \quad (6)$$

где $a_i = \bar{a}_{ij} \hat{T}_j(c_r)$, $b_j = \bar{a}_{ij} \hat{T}_i(d_e)$, $(i = 0, \dots, 3; j = 0, \dots, 3)$.

Теперь задача состоит в том, чтобы обеспечить условие непрерывности по линиям сетки в ее узлах. Для этого вычисляются значения функции (1) в узлах.

Далее приступаем к нахождению новых коэффициентов a_i и b_j полиномов (6) при условиях непрерывности в узлах сетки.

Задача решается следующим образом. По линиям сетки параллельным оси u , необходимо найти

$$\int_{-1}^1 \left(\sum_{j=0}^3 b_j^{-l,r} \hat{T}_j(y) - \sum_{i=0}^3 b_j^{l,r} \hat{T}_j(y) \right)^2 dy = \min \quad (7)$$

при граничных условиях

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=0}^3 b_j^{l,r} \hat{T}_j(-1) - Z^{l,r} &= 0 \\ \sum_{j=0}^3 b_j^{l,r} \hat{T}_j(1) - Z^{l,r+1} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Если проинтегрировать левую часть выражения (7) с учетом свойств ортонормированных полиномов Чебышева, получим функционал

$$\left(\sum_{j=0}^3 \bar{b}_j^{-l,r} - \sum_{i=0}^3 b_j^{l,r} \right)^2 = \min. \quad (9)$$

Для решения (9) и (8) составляем функцию Лагранжа

$$\begin{aligned} L(b_j, \lambda_1, \lambda_2) = & \left(\sum_{j=0}^3 \bar{b}_j^{-l,r} - \sum_{i=0}^3 b_j^{l,r} \right)^2 + \lambda_1^{l,r} \left(\sum_{i=0}^3 b_j^{l,r} T(-1) - Z^{l,r} \right) + \\ & + \lambda_1^{l,r} \left(\sum_{i=0}^3 b_j^{l,r} T(1) - Z^{l,r+1} \right), \end{aligned} \quad (10)$$

где λ_1 и λ_2 - множители Лагранжа, которые являются дополнительными неизвестными; $Z^{l,r}, Z^{l,r+1}$ - усредненные значения функции (1) в узлах сетки Ω_R .

Находим частные производные функции L по неизвестным $b_j^{l,r}, \lambda_1, \lambda_2$, приравниваем их к нулю и после преобразований получим систему из двух уравнений

$$\left. \begin{aligned} d\lambda_1^{l,r} + e\lambda_2^{l,r} &= l^{l,r} \\ e\lambda_1^{l,r} + d\lambda_2^{l,r} &= l^{l,r+1} \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

где $d = \sum_{j=0}^3 \hat{T}_j(1) \hat{T}_j(1) = \sum_{j=0}^3 \hat{T}_j(-1) \hat{T}_j(-1)$, $e = \sum_{j=0}^3 \hat{T}_j(-1) \hat{T}_j(1)$,

$$l^{l,r} = 2 \left(\sum_{j=0}^3 \bar{b}_j^{l,r} \hat{T}_j(-1) - Z^{l,r} \right), \quad l^{l,r+1} = 2 \left(\sum_{j=0}^3 \bar{b}_j^{l,r} \hat{T}_j(-1) - Z^{l,r+1} \right).$$

Решая (11) находим λ_1 и λ_2 и вычисляем значения b_j по формуле

$$b_j^{l,r} = \frac{\bar{b}_j^{l,r} - (\lambda_1^{l,r} \hat{T}_j(-1) + \lambda_2^{l,r} \hat{T}_j(1))}{2}.$$

Построение профилей, параллельных оси x , и нахождение коэффициентов a_i выполняется аналогично. Теперь решается задача (4) и (5) для определения коэффициентов a_{ij} каждого элементарного участка с соблюдением условий непрерывности на границах.

Запишем функцию Лагранжа

$$\begin{aligned} L(a_{ij}, v_j, w_j, \mu_i, \alpha_i) = & \left(\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \bar{a}_{ij}^{l,r} - \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij}^{l,r} \right)^2 + \\ & + v_j^{l,r} \left(\sum_{j=0}^3 a_{ij}^{l,r} \hat{T}_i(-1) - b_j^{l,r} \right) + w_j^{l+1,r} \left(\sum_{j=0}^3 a_{ij}^{l,r} \hat{T}_i(1) - b_j^{l+1,r} \right) + \\ & \mu_i^{l,r} \left(\sum_{j=0}^3 a_{ij}^{l,r} \hat{T}_i(-1) - a_j^{l,r} \right) + \alpha_i^{l,r+1} \left(\sum_{j=0}^3 a_{ij}^{l,r} \hat{T}_i(1) - a_j^{l,r+1} \right), \quad (j=0, \dots, 3), (i=0, \dots, 3). \end{aligned} \quad (12)$$

Найдем частные производные (12) по переменным $(a_{ij}, v_j, w_j, \mu_i, \alpha_i)$ и приравняем их к нулю

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial b_j} &= -2\bar{a}_{ij}^{l,r} + 2a_{ij}^{l,r} + v_j^{l,r} \hat{T}_i(-1) + w_j^{l+1,r} \hat{T}_i(1) + \mu_i^{l,r} \hat{T}_j(-1) + \alpha_i^{l,r+1} \hat{T}_j(1) = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial v_j^{l,r}} &= \sum_{j=0}^3 a_{ij}^{l,r} \hat{T}_i(-1) - \bar{b}_j^{l,r} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial w_j^{l+1,r}} &= \sum_{j=0}^3 \bar{a}_{ij}^{l,r} \hat{T}_i(1) - \bar{b}_j^{l+1,r} = 0, \quad (j=0, \dots, 3) \\ \frac{\partial L}{\partial \mu_i^{l,r}} &= \sum_{j=0}^3 \bar{a}_j^{l,r} \hat{T}_i(-1) - \bar{a}^{l,r} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \alpha_i^{l,r+1}} &= \sum_{j=0}^3 \bar{a}_j^{l,r} \hat{T}_i(1) - \bar{a}^{l,r+1} = 0, \quad (i=0, \dots, 3) \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Выразим из первого уравнения (13) a_{ij}

$$a_{ij}^{l,r} = \frac{\bar{a}_{ij}^{l,r} - (v_j^{l,r} \hat{T}_i(-1) + w_j^{l+1,r} \hat{T}_i(1) + \mu_i^{l,r} \hat{T}_j(-1) + \alpha_i^{l,r+1} \hat{T}_j(1))}{2} \quad (14)$$

и подставим в следующие уравнения системы (13).

В результате получим систему нормальных уравнений с шестнадцатью неизвестными множителями Лагранжа. Коэффициенты d, l и $c_0, \dots, c_9$ системы нормальных уравнений имеют постоянные значения и зависят только от значений ортонормированных полиномов Чебышева на концах интервала $[-1, 1]$.

$$d = \sum_{i=0}^3 \hat{T}_i(-1) \hat{T}_i(-1); \quad l = \sum_{i=0}^3 \hat{T}_i(-1) \hat{T}_i(-1),$$

$$\begin{aligned} c_0 &= \hat{T}_0(1) \hat{T}_0(1), & c_5 &= \hat{T}_1(1) \hat{T}_2(1), & u_j^{l,r} &= 2 \left(\sum_{i=0}^3 \bar{a}_{ij}^{l,r} \hat{T}_i(-1) - b_j^{l,r} \right), \\ c_1 &= \hat{T}_0(1) \hat{T}_1(1), & c_6 &= \hat{T}_1(1) \hat{T}_3(1), & u_j^{l1,r} &= 2 \left(\sum_{i=0}^3 \bar{a}_{ij}^{l,r} \hat{T}_i(-1) - b_j^{l+1,r} \right), \\ c_2 &= \hat{T}_0(1) \hat{T}_2(1), & c_7 &= \hat{T}_2(1) \hat{T}_2(1), & \theta l_i^{l,r} &= 2 \left(\sum_{j=0}^3 \bar{a}_{ij}^{l,r} \hat{T}_j(-1) - a_i^{l,r} \right), \\ c_3 &= \hat{T}_0(1) \hat{T}_3(1), & c_8 &= \hat{T}_2(1) \hat{T}_3(1), & \theta_i^{l,r} &= 2 \left(\sum_{j=0}^3 \bar{a}_{ij}^{l,r} \hat{T}_j(-1) - a_i^{l,r+1} \right), \\ c_4 &= \hat{T}_1(1) \hat{T}_1(1), & c_9 &= \hat{T}_3(1) \hat{T}_3(1), \end{aligned}$$

где $u_j^{l,r}, u_j^{l1,r}, \theta l_i^{l,r}, \theta_i^{l,r}$ - свободные члены уравнений.

Решая полученную систему, находим множители Лагранжа и вычисляем для каждого элементарного участка $a_{ij}^{l,r}$ коэффициенты аппроксимирующего полинома (3). Необходимо заметить, что обратная матрица коэффициентов нормальных уравнений постоянна и все решения сводятся к вычислению свободных членов и умножению обратной матрицы на вектор свободных членов преобразованной системы.

Таким образом, получаем аппроксимирующую поверхность рельефа, описанную полиномом (3) в каждом элементарном участке при соблюдении условий непрерывности по всему полю моделирования.

Точность аппроксимации будет зависеть от размера элементарного участка, плотности расположения исходных точек на поверхности рельефа и сложности самого рельефа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журкин И. Г., Коркин В.С. Об одном подходе к построению цифровой модели рельефа // Изв. Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1983. – № 4. – с. 66-71.

© В.С. Коркин, 2005

ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЧВОВЕДЕНИИ

Роль ГИС технологий и математического моделирования в почвоведении сводится к интеграции знаний о рельефе, климате, растительности и т.д. с целью нахождения на заданном участке исследования определенных взаимосвязей, которые помогают понять такой сложный объект исследования – как почва. Почвенный покров является гетерогенной средой, свойства которого зависят от контролирующих эти свойства факторов. Этих факторов очень много, и на наш взгляд такие факторы как рельеф, растительность, геологическое строение, климатические характеристики играют одну из главных ролей в формировании такого уникального природного образования – как почва, которая обладает свойствами плодородия. Сложность изучения почв состоит в том, что трудно предсказать тип почвы или ее свойства, не опираясь на количественные и качественные данные полевых измерений, для получения которых требуются немалые денежные средства. В научной практике делались неоднократные, и в большинстве своем удачные попытки прогноза типа и свойств почв по косвенным признакам – отдельным характеристикам компонентов ландшафта с достоверной корреляционной связью, которые имеют отражение на аэро-, космо-, радиолокационных снимках [1]. Для решения этих проблем необходимо иметь достаточно эффективные инструменты для работы с пространственными данными. В настоящее время ГИС технологии и моделирование отвечают практически всем требованиям, которые когда-либо предъявляли биологи-исследователи. На сегодняшний день довольно таки эффективными с точки зрения объекта исследования, являются виртуальные трехмерные поверхности рельефа, с которых можно снять количественные характеристики, не выезжая в поле, что до недавнего времени представлялось затруднительным в применении к почвоведению. Такую трехмерную модель рельефа можно «крутить» вокруг своей оси, удаляться и приближаться к ней, произвольно выбирать точку обзора, и исследовать практически любой участок виртуальной местности, которая на самом деле описывает реальную местность, с той лишь разницей, что виртуальную местность мы изучаем на экране компьютера, а реальную в полевых условиях. В дополнение к трехмерной модели рельефа можно использовать драпировку космическим снимком, в результате этой операции получается реалистичный ландшафт. Данные методы в дополнение ко всему выше сказанному позволяют получить хоть какие-то сведения о территориях, которые в реальности являются труднопроходимыми и их исследование в полевых условиях очень затруднительно и требует значительных материальных затрат.

Материалы, объекты и методы исследования

В качестве основы для создания трехмерной модели рельефа использовались следующие исходные данные: радиолокационные снимки сенсора SIR-C и X-SAR; данные векторизации изолиний высот с топографических карт масштаба 1: 200 000.

Радиолокационные снимки сенсора SIR-C и X-SAR получены в результате проведения проекта *Shuttle Radar Topography Mission*. Снимки имеют разрешение 90 м (Level-1, 3 arcseconds) [2]. Цифровая модель, соответствует топографической карте масштаба 1:150000. Данные распространяются квадратами размером 1x1 градус, при максимально доступном разрешении 3 арксекунды такой квадрат является матрицей размером 1201x1201 элементов (пикселей). Один дополнительный ряд является дублирующим и повторяется на соседней матрице. Данные являются простым 16 битным растром (без заголовка), значение пиксела является высотой над уровнем моря в данной точке, значение пиксела также может принимать значение -32768, что соответствует значению «нет данных». Референц-эллипсоид данных - WGS84. Высоты приведены в американской системе, которая немного отличается от используемой в России - балтийской. Данные распространяются в формате HGT. На сильно расчлененных территориях существует проблема так называемых «дыр», где могут отсутствовать значения высот. Для корректной интерпретации этих данных необходима предварительная обработка массива и восстановление недостающих данных, используя интерполяционные алгоритмы.

Построение трехмерной модели рельефа по данным топографических карт требует определенной подготовки исходного материала: сканирование топоосновы, векторизация, получение исходного массива точек высот. Полученные исходные массивы данных интерполировались методом универсального кригинга для построения регулярной сети. Точность получаемой цифровой модели рельефа (ЦМР) определяется точностью исходного картографического материала. Примеры построения цифровых моделей рельефа по выше описанным технологиям приведены ниже (рис. 1).

Для получения реалистичных ландшафтов используется драпировка полученных ЦМР космическим снимком Landsat TM, разрешение 30 м (рис. 2).

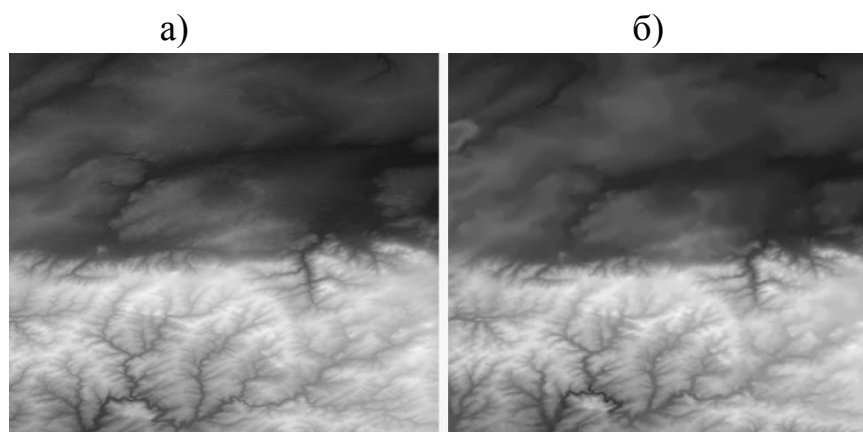


Рис. 1. Примеры ЦМР построенные:

а) данные радиолокационного снимка; б) данные, полученные с топографической карты (территория предгорий и низкогорий Салаирского кряжа, Новосибирская область)

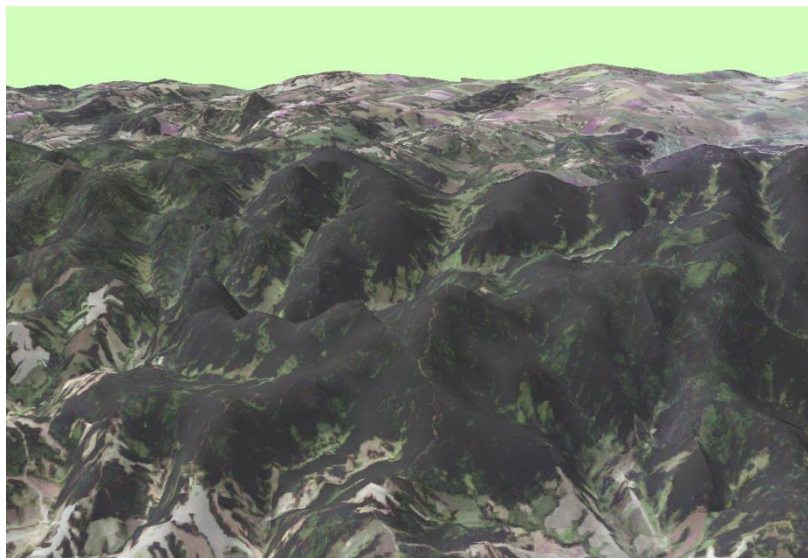


Рис. 2. Драпировка трёхмерной поверхности рельефа космическим снимком Landsat TM, территория предгорий и низкогорий Салаирского кряжа (Новосибирская область)

В качестве данных для построения покрытий трёхмерной поверхности можно использовать не только космоснимки, но и любые другие пространственно распределенные данные, например почвенную карту (рис. 3).

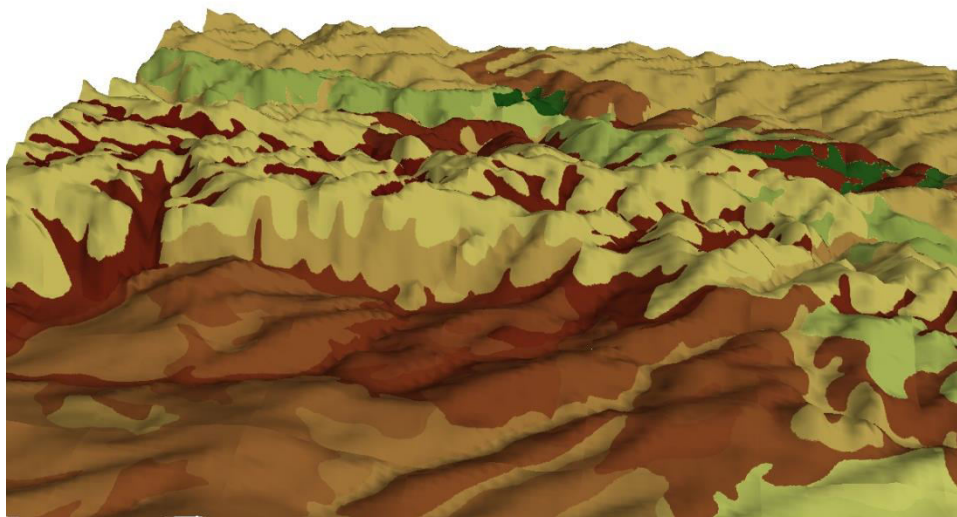


Рис. 3. Трёхмерная почвенная карта предгорий и низкогорий Салаирского кряжа (Новосибирская область)

Выводы

Прикладное применение достаточно гибких методов пространственного моделирования и исследования в области почвоведения и охраны почв показало свою эффективность и имеет перспективы в практической реализации.

ГИС – технологии и трехмерное моделирование обеспечивают принятие адекватных управленческих решений по защите от неблагоприятных факторов не только почв, но и окружающей среды.

Данная информация позволяет теоретически объяснить процессы, происходящие при формировании таксономических единиц почв, что в последующем поможет в понимании взаимодействия между почвенным покровом и компонентами ландшафта. Интеграция информации путем наложения на цифровую модель рельефа космического снимка позволяет использовать ее для решения следующих задач: теоретическое объяснение пространственного положения отдельных контуров почв; исследование рельефа сопутствующего отдельной разновидности почв; экологический мониторинг почвенного покрова с использованием спутниковых, геоботанических и геоморфологических данных.

Применение методов дистанционного зондирования позволяет радикально (на порядки) уменьшить стоимость полевых работ, проводя комплексное исследование обширных территорий, зачастую недоступных по тем или иным причинам для традиционных методов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М., Наука, 1984, 191 с.
2. SRTM Documentation. NASA/JPL SRTM: <http://www.jpl.nasa.gov/srtm/>
3. Боб Бут. ArcGIS 3D Analyst. Руководство пользователя.

© Н.В. Гонн, В.В. Смирнов, 2005

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ ПО АЭРОКОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

На сегодняшний день существует острая необходимость во всестороннем представлении и динамичном изменении параметров городских и сельских областей для различных целей мониторинга. Многофункциональное использование 3D пространства необходимо для получения различных характеристик окружающей среды и процессов, проводимых в этом пространстве с целью анализа и оценки её состояния. При этом не менее важным является трёхмерная визуализация ситуации на местности с целью лучшего понимания и восприятия, по сравнению с традиционными плоскими картами, графиками или семантической информацией.

Возрастающее число новых источников данных: космических снимков высокого пространственного разрешения, цифровых аэрофотоснимков, снимков полученных цифровыми камерами и т. д., создаёт потребность в разработке новых средств и технологий для их обработки, а также новых инструментальных средств отображения объектов реального мира в 3D пространстве.

На современном уровне развития техники и технологий основным источником данных создания топографических карт местности становятся аэрокосмические изображения высокого пространственного разрешения.

В связи с этим возникает необходимость в разработке эффективных технологий и методик создания 3D моделей местности по аэрокосмическим изображениям и использования их для различных целей мониторинга.

Исходные аэрокосмические изображения имеют различные искажения, вызванные систематическими и несистематическими ошибками, которые могут быть наиболее эффективно устранены методами фотограмметрии.

Пространственное 3D моделирование местности по аэрокосмическим снимкам возможно при сочетании преимуществ технологий ГИС и возможностей цифровой фотограмметрии, что успешно реализуется на сегодняшний день в таком программно продукте по обработке данных дистанционного зонирования, как ERDAS Imagine.

В данной статье рассмотрены разработанные технологические схемы обработки аэрокосмической информации с целью создания 3D моделей местности.

Общая технологическая схема обработки аэрокосмической информации с целью создания 3D моделей местности представлена на рис. 1.

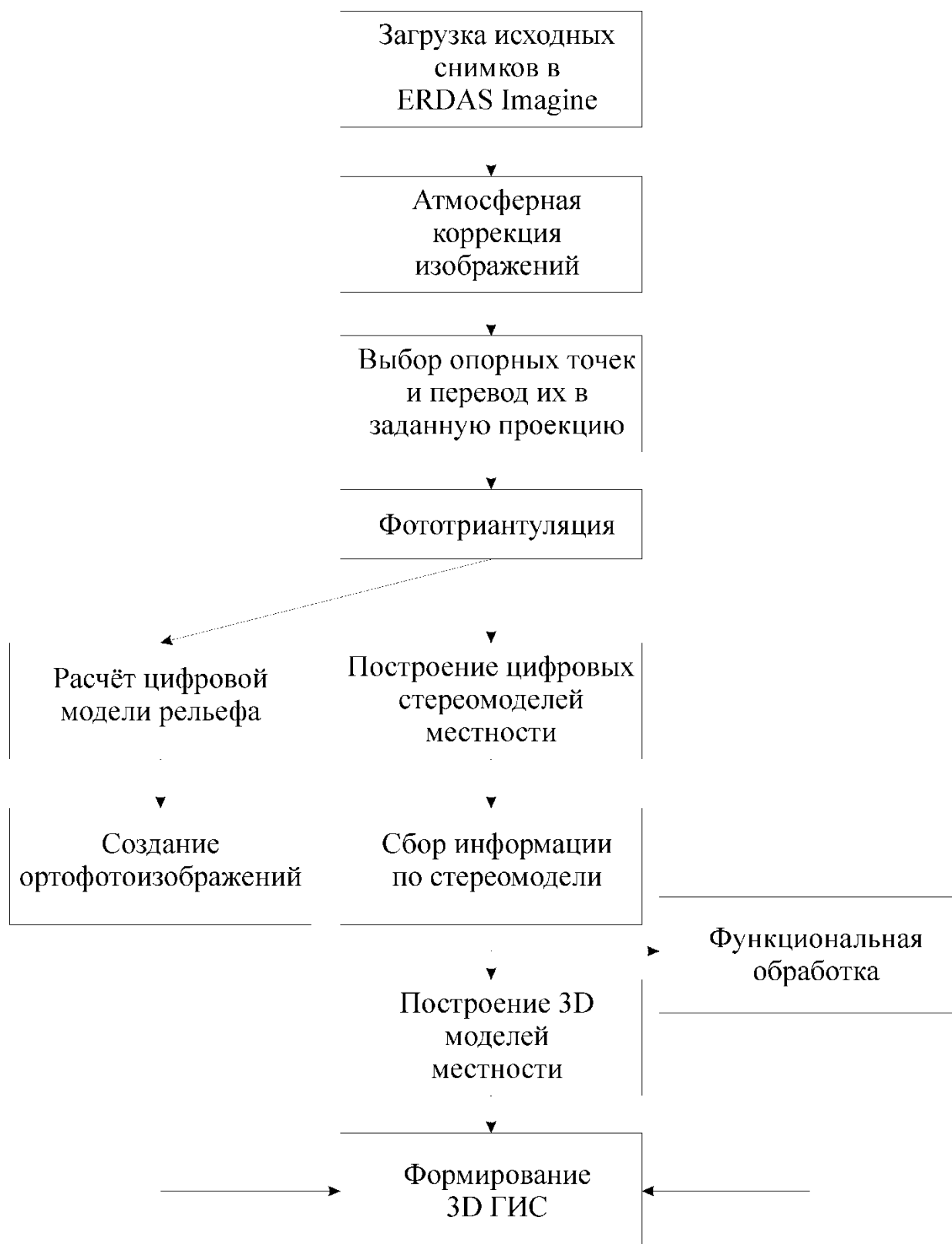


Рис. 1. Общая технологическая схема обработки аэрокосмической информации

В зависимости от поставленной задачи и исходных материалов будут меняться те или иные блоки в общей схеме обработки аэрокосмической информации рис. 2.



Рис. 2. Технологическая схема обработки аэрофотоснимков

Так на пример, с целью дальнейшей обработки аэрофотоснимки, полученные на фотопленках необходимо предварительно перевести в цифровую форму путём сканирования.

Технологическая схема обработки космической информации представлена на рис. 3.

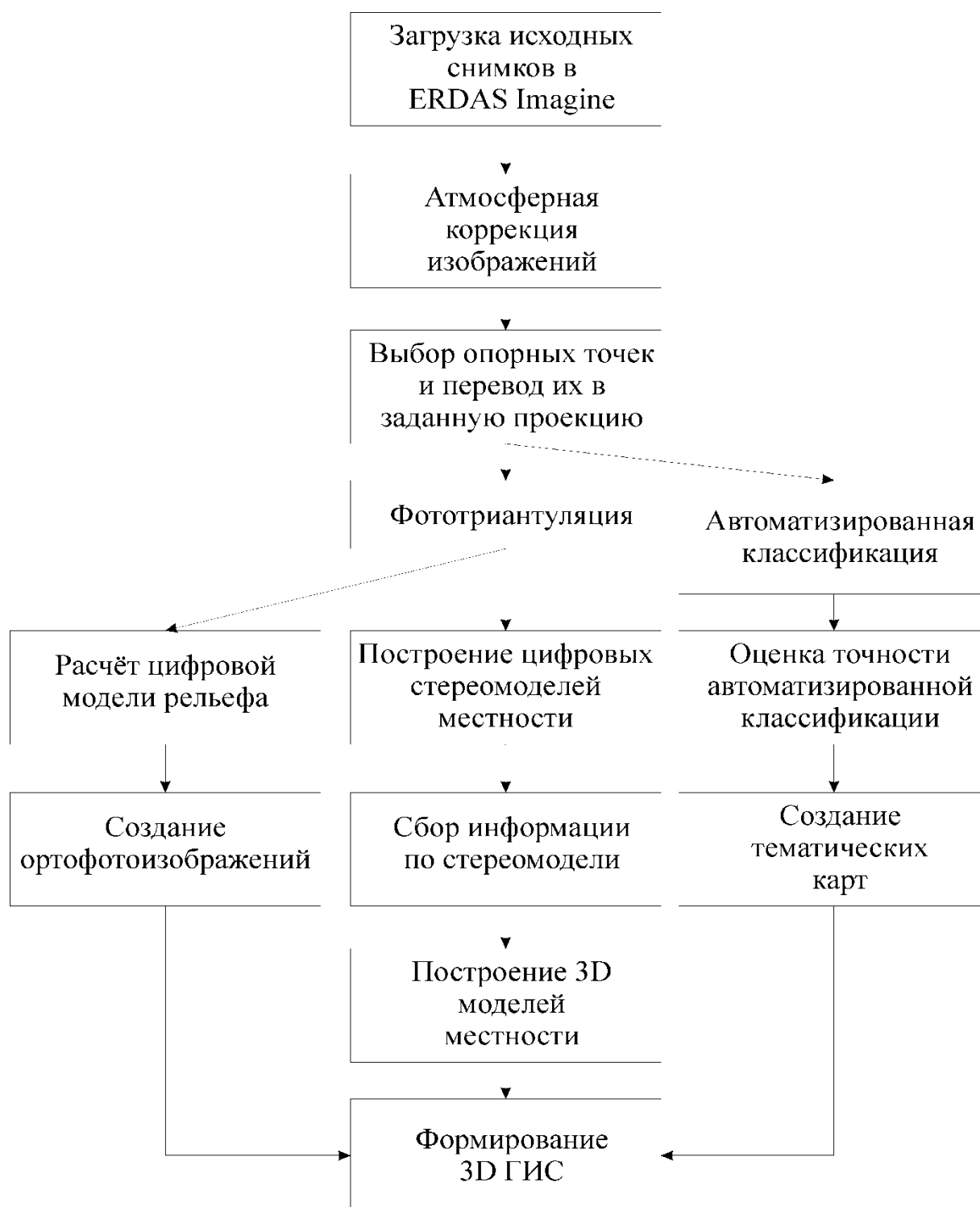


Рис. 3. Технологическая схема обработки космической информации

Первым этапом при обработке космической информации, поступающей с искусственных спутников Земли в различных форматах данных, является импорт во внутренний формат ERDAS Imagine.

Одним из последних достижений в области развития аэрокосмических съёмочных систем является разработка нового формата пространственных данных – GeoTiff. Формат GeoTiff содержит геореференсную и геокодированную информацию об изображении. Геокодированная информация

содержит информацию о специфической проекции, эллипсоиде и системе координат.

Представленные технологические схемы позволяют создавать 3D модели местности по аэрокосмическим снимкам с целью проведения мониторинга.

На сегодняшний день, в результате дальнейшего развития геоинформационных технологий происходит интеграция методов фотограмметрии, дистанционного зондирования и ГИС, позволяющая точно идентифицировать географическую информацию в трёхмерном пространстве. Данная интеграция является идеальным инструментальным средством для построения 3D ГИС будущего.

Современные данные дистанционного поступают непосредственно в цифровом виде, что исключает необходимость сканирования и ошибки с ним связанные, но при этом возникают дополнительные искажения, вызванные геометрическими условиями формирования сканерного изображения.

В связи, с чем возникает необходимость разработки технологии обработки сканерных аэрокосмических изображений.

Разработка технологии проводилась на примере использования космических снимков, полученных съёмочной системой высокого пространственного разрешения Quick Bird II на территорию г. Новосибирска. Разрешение панхроматических снимков составляет 0,61 м, полученных в определённой картографической проекции – файлы в новом формате растровых данных Geotiff., а многозональных 2,44 м, представленных тремя зонами спектра.

Данные, полученные данной зарубежной съёмочной системой, имеет файлы, которые содержат дополнительную информацию:

- О параметрах внутреннего и внешнего ориентирования съёмочной системы каждой строки в отдельности;
- Влиянии кривизны поверхности Земли;
- Высоте солнца над горизонтом;
- Азимуте съёмочной системы;
- Широте и долготе формируемой строки.

Информации о данных параметрах находится в файлах RPB и представляет собой коэффициенты рациональных полиномов.

После обработки данных с использованием этих файлов производится географическая привязка в определённую картографическую проекцию. В данной работе привязка осуществлялась в местной системе координат с использованием опорных точек, полученных в полевых условиях путём привязки по GPS технологии.

Обязательным условием данной обработки является контроль качества по опорным и контрольным точкам. Точность должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к точности создания по ним карт заданного масштаба.

После привязки в единую систему координат всех изображений на исследуемую территорию необходимо провести их объединение в единое изображение. В связи с тем, что изображение на одну территорию формируются

из снимков соседних маршрутов необходимо провести выравнивание по яркости и контрасту. После чего производится сшивка в единое изображение по линии, которая задаётся автоматически, либо вычерчивается вручную по изображению.

Обработанные таким образом изображения представляют собой ортофотоизображения, а составленный по ним план представляет собой ортофотоплан.

На полученный ортофотоплан производилось наложение созданной ранее векторной карты в местной системе координат, импортированной из Mapinfo.

Результат наложения на полученное изображение векторной карты г. Новосибирска показал наличие несуществующих на изображении зданий и сооружений, а так же наличие новых объектов, не отображённых на векторной карте.

© А.В. Павленко, 2005

УДК 528.85

М.Ю. Александров

ЗАО «ГЕО-НАДИР», Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Современное состояние рынка данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в мире и России характеризуется постоянно растущим спросом практически на весь спектр предлагаемых космических снимков. С каждым днем увеличивается число компаний и специалистов, использующих данные ДЗЗ и продукцию на их основе в своих проектах. В настоящее время, пожалуй, трудно назвать отрасль экономики, где бы ни были востребованы эти высокотехнологичные данные.

В первую очередь в различных секторах народного хозяйства оказались востребованы данные высокого разрешения. В течение последних лет одновременно несколько компаний — владельцев спутников ДЗЗ — представили на рынок высокодетальные космические данные, доступные для коммерческого использования. Сейчас SPOT Image (Франция), Space Imaging, ImageSat, DigitalGlobe и с недавнего времени OrbImage (США) осуществляют сбор снимков с пространственным разрешением от 5 до 0,6 м. При этом точность привязки обработанных изображений может колебаться от нескольких сотен до 1 м. Иными словами, пользователю предлагается полноценный картографический продукт, сочетающий в себе высокие точностные характеристики, информативность и детализацию.

В январе 2003 г. компания «Гео-Надир» становится первым официальным дистрибьютором продукции QuickBird на территории Российской Федерации и Среднеазиатских республик. Впервые это позволило в полном объеме представить российскому потребителю самые высокодетальные на сегодняшний момент космические снимки. Пространственное разрешение 60–70 см в сочетании с высочайшими техническими характеристиками дало возможность космическим снимкам в большинстве случаев успешно конкурировать с материалами традиционной аэрофотосъемки.

Данные QuickBird с пространственным разрешением 0,6 м и данные Ikonos с пространственным разрешением 1 м могут быть использованы в качестве исходных данных для создания картографического масштаба 1: 5 000. На сегодняшний день это минимально возможный масштаб создания карт на базе коммерчески доступных космических снимков. С использованием данных QuickBird и Ikonos возможно выполнение работ по обновлению карт масштаба 1:2000.

Космические снимки QuickBird и Ikonos доступны для таких коммерческих направлений как: картографирование, землепользование, мониторинг инфраструктуры объектов и окружающей среды, сельское и лесное хозяйство, нефтегазовый сектор, планирование и управление производственными мощностями, кадастр, создание и обновление генеральных планов.

Компании DigitalGlobe планирует вывод на орбиту в конце 2005 г. спутника нового поколения, который будет получать данные с разрешением 30–45 см в стереорежиме. На практике это означает, например, возможность создания векторных карт с рельефом местности в масштабе 1:2000. Объем наземных топографо-геодезических работ минимизируется, и как следствие экономическая эффективность от применения высокотехнологичных данных ДЗЗ увеличивается на порядки.

Традиционно устойчив интерес к данным КА SPOT (разрешение на местности от 2,5 м). Снимки успешно используются при обновлении и создании топографических и тематических карт в масштабах 1:25 000–1:200 000. При заказе новой съемки на большие территории стоимость 1–3 дол. за 1 км² часто бывает определяющей. «Гео-Надир» является официальным дистрибьютором всего перечня продукции КА SPOT на территории Российской Федерации и Белоруссии.

Кроме динамично растущего рынка высокодетальных данных, существует постоянный спрос на данные среднего разрешения, полученные КА ASTER и Landsat. Следует отметить, что при этом востребованными техническими характеристиками являются богатство спектральных диапазонов, возможность осуществления съемки в ночное время, использование тепловых каналов снимков, большая площадь покрытия, низкая стоимость (несколько центов за 1 км²) и большой архив отснятых снимков почти на любую интересующую территорию.

Компания «Гео-Надир» занимается поставкой всего спектра космических снимков, полученных с зарубежных и отечественных съемочных систем за период с 1959 по настоящее время (зарубежные спутники: КН, Aster, Landsat, Spot, Eros, Radarsat, IRS, Ikonos, OrbImage, QuickBird и др. и отечественные КА: КВР-1000, ТК-350, КФА-1000 и МК-4). 7 лет назад компания Гео-Надир начинала свою деятельность как геодезическая и картографическая компания. Наш положительный опыт применения спутниковых данных в собственных проектах позволяет демонстрировать потребителям экономические и технологические преимущества использования ДДЗ.

На практике новые высокие технологии приходят на смену давно устаревшим методикам и разработкам. У потребителя есть возможность выбора

именно тех снимков, параметры и способы обработки которых наиболее подходят для его проекта.

Внедрение и активное использование новейших разработок в области геоинформатики являются «локомотивом» успешного развития многих отраслей народного хозяйства страны.

© М.Ю. Александров, 2005

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ПРИРОДНЫХ СРЕД ТОМСКОГО РАЙОНА

При изучении состояния окружающей среды оперируют с данными, характеризующими экологическую обстановку обязательный атрибут которых – пространственная привязка. Возникает необходимость использования геоинформационных технологий. В настоящее время это, прежде всего, связывается с внедрением в процесс экологических исследований геоинформационных систем и компьютерного картографирования.

Целостность экологического изучения должна быть обеспечена единым методологическим принципом – отображением системной зависимости состояния и изменения природной среды, ее ландшафтных особенностей, характера и интенсивности эксплуатации, непосредственного влияния техногенных нагрузок на природную составляющую и, что особенно важно, отображением определенной обусловленности состояния здоровья населения территориальными и экологическими аспектами [2]. Анализ пространственно-распределенной информации отражающей состояние различных факторов окружающей среды (воздуха, почвы и т.д.) и социально-гигиенической (заболеваемость и т.д.) основная задача геоэкологии. Обработка такой информации вызывает необходимость использования современных геоинформационных технологий.

ГИС-технология позволяет собрать воедино и проанализировать различную, на первый взгляд мало связанную между собой информацию, получить основанный на массовом фактическом материале обобщенный взгляд на него, количественно и качественно проанализировать взаимные связи между характеризующими его параметрами и происходящими в нем процессами.

Томский район является пригородным районом, это определяет его основные экологические проблемы. Воздействие на природные среды, биоту и человека многих техногенных факторов, обусловленных деятельностью нефтехимического, ядерного, топливно-энергетического, агропромышленного и других комплексов, функционирующих как в Томск-Северской промышленной агломерации, так и за ее пределами (Кемерово-Новокузнецкая агломерация) приводит к интенсивной трансформации природной среды и формированию специфической эколого-геохимической обстановки [7]. На территории Томского района выполнен комплекс геохимических исследований различных природных сред (почва, пылевые атмосферные выпадения, солевые образования (накипь) на посуде, волосы детей, питьевая вода) [1, 5, 6, 8, 9]. Накоплен огромный объем информации, который может быть использован для оценки экологического состояния территории. Обработка такого массива данных без использования компьютерных технологий крайне затруднительна.

При создании компьютерных геоэкологических карт Томского района использовалась следующая технологическая цепочка (рис. 1).

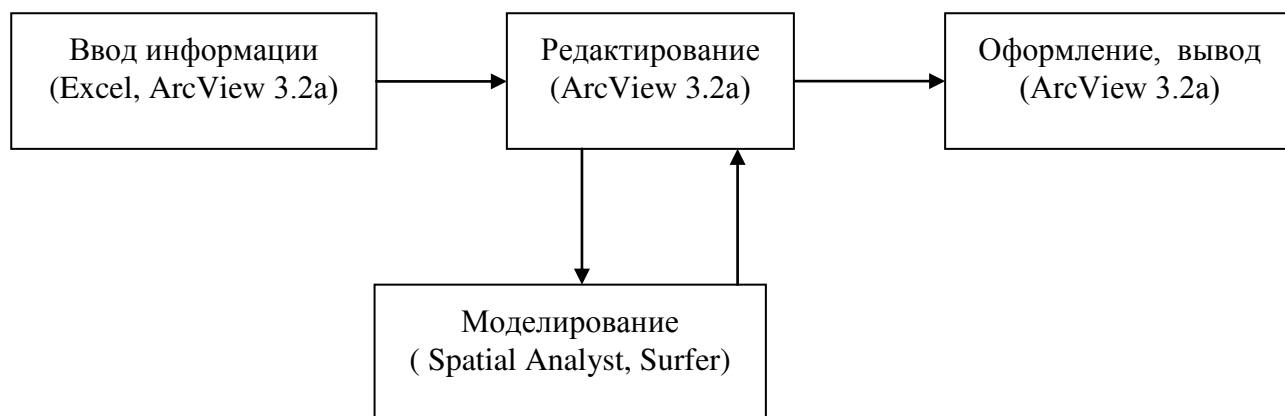


Рис. 1. Схема технологии создания компьютерных геоэкологических карт Томского района

Изучение закономерностей пространственного распределения эколого-геохимических показателей в природных средах; картографирование медицинских показателей происходило в несколько этапов:

I. Создание картографической базы

В качестве базовой карты использовалась топографическая основа, 1:1000000 масштаба, охватывающая границы территории Томского района. В основном использовались следующие слои: границы района и медицинских округов, площадная и линейная гидрография, населенные пункты в виде точечного покрытия.

II. Создание фактографической базы данных

Была создана комплексная база данных охватывающая территорию Томского района, характеризующая пять природных сред: почва, пылевые атмосферные выпадения, солевые образования (накипь) на посуде, волосы детей, питьевая вода. Отличительной особенностью данной информации было то, что в каждой среде были определены одни и те же геохимические элементы и пробы были отобраны в одних и тех же населенных пунктах Томского района. Этот факт позволил в дальнейшем дать комплексную оценку состояния окружающей среды с учетом всех природных сред.

Так же в базу была занесена информация о состоянии здоровья населения: заболеваемость взрослого населения, заболеваемость детей и др.

III. Объединение атрибутивной и пространственной информации

Объединение описательной информации с пространственными данными путем использования функции ArcView - Горячая связь.

IV. Пространственный анализ и создание моноэлементных геохимических карт-схем [3]

На данном этапе происходило непосредственно построение поверхностей распределения эколого-геохимических показателей и построение оценочных карт (рис. 2). Всего было построено около ста картосхем характеризующих пространственное распределение геохимических показателей по изучаемым природным средам.

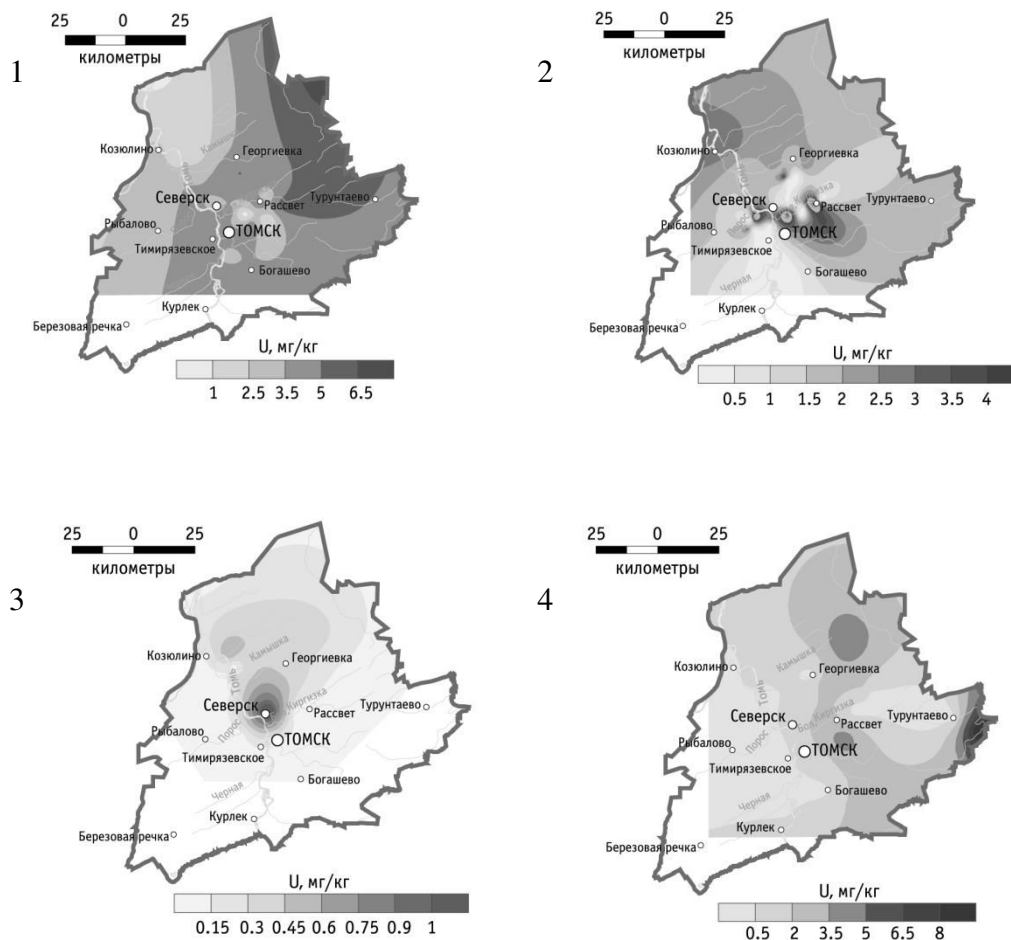


Рис. 2. Схематические карты распределения урана:

1 – в пылеаэрозольных выпадениях; 2 – в почвах; 3 – в волосах детей; 4 - в солевых отложениях (накипи) на посуде [1, 6]

Для построения поверхностей распределения геохимических элементов, исследуемая территория была разбита на квадраты. Для интерполяции использовался метод кригинга [4]. Выбор данного метода был основан на том, что анализируемых данных было немного, и они имели неравномерное распределение. А метод кригинга дает хорошие результаты даже в том случае, когда плотность опорных точек невелика.

Территориальный анализ медицинских показателей строился на основе информации по медицинским округам, в результате получены схематические карты распространенности различных заболеваний в разрезе медицинских округов Томского района (рис. 3).

На основе моноэлементных карт было проведено зонирование территории Томского района по фактору загрязнения природных сред и построена карта-схема зонирования территории (рис.4).

- Выделить в Томском районе 4 сектора по степени техногенной нагрузки и, соответственно, экологического неблагополучия по степени его уменьшения:
- Север-северо-восточный сектор (правобережье р.Томь – автотрасса Томск-Асино) Светленский, Октябрьский и, частично, Турунтаевский медицинские округа;
- Северо-западный сектор (левобережье р. Томь), включающий северную часть (севернее с.Тимирязевского) Томского муниципального округа;
- Юго-западный сектор, включающий в себя южную часть Томского медицинского округа (южнее с. Тимирязевского);
- Юго-восточный сектор, включающий в себя Лоскутовский и, частично, Турунтаевский медицинский округа.
- Представить данные, характеризующие состояние окружающей среды и здоровья населения на единой картографической основе, что способствовало раскрытию структуры и выявлению сложных зависимостей между антропогенными изменениями природной среды Томского района и здоровьем его населения, а также обусловленности некоторых заболеваний населения от природных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барановская Н.В. Элементный состав биологических материалов и его использование для выявления антропогенно-измененных территорий (на примере южной части Томской области) / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Томск: ТПУ. 2003, - 20 с.
2. Жуков В.Т., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Компьютерное геоэкологическое картографирование. М: Научный мир, 1999. - 128 с.
3. Энди Митчелл Руководство по ГИС анализу. – Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи.; Пер. с англ. – Киев, ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000. – 198 с.
4. Мусин О.Р. Цифровые модели для ГИС Информационный бюллетень ГИС Ассоциация № 4(16) 1998.
5. Рихванов Л.П., Ермохин А.И., Язиков Е.Г. Руководство по оценке загрязнения объектов окружающей природной среды химическими веществами и их контроль. Томск: ТПУ, 1995. – 95 с.
6. Шатилов А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика пылевых атмосферных выпадений на территории Обского бассейна / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Томск: ТПУ. 2001, - 23 с.
7. Экология Северного промышленного узла г.Томска. Проблемы и решения. / Под редакцией А.М.Адама. Томск: ТГУ, 1994, 260с.
8. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. Индикаторная роль солевых образований в воде при геохимическом мониторинге.//Известия вузов. Геология и разведка, № 1 2004. – 67-69.
9. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Лыготин В.А., Шатилов А.Ю., Шинкаренко В.П., Макушин Ю.В., Архангельский В.В. Геохимические особенности природных сред специализированных полигонов Томского района / Докл. II Межд. Науч.-практ. Конф. «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде» Т.2. – Семипалатинск: Семипал. ГУ. 2002. с. 448-454

СОДЕРЖАНИЕ

Гук А.П., Антипов И.Т. Современное состояние и перспективное развитие фотограмметрических технологий, дистанционных методов и мониторинга ПО аэрокосмической информации.....	3
Куценогий К.П., Трубина Л.К. Комплексный мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири.....	9
Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П. Программный комплекс обработки данных дистанционного зондирования Земли в прикладных задачах мониторинга природной среды.....	19
Гук П.Д. Анализ ошибок, действующих при построении модели по условию компланарности и по установочным элементам.....	26
Пластинин Л.А., Плюснин В.М. Учебное пособие «основы дистанционного зондирования и космического картографирования Земли».....	28
Алябьев А.А., Серебряков С.В., Гурвич В.Б., Малых О.Л. Разработка и внедрение геоинформационных систем в Свердловской области (на примере ГИС социально-гигиенического мониторинга).....	32
Гук А.П., Прудников В.В., Павленко А.В. Разработка методики обновления карт и планов по космическим снимкам высокого разрешения.....	37
Кузнецов Ю.И., Попов Р.А. Построение сферического базиса для классификации лесоболотных ландшафтов	42
Гершензон О.Н., Маслов А.А. Оперативный спутниковый мониторинг на базе универсальной приемной станции УНИСКАН™	46
Козориз М.Д., Макачук А.Л. О создании геоэкологического деформационного мониторинга при освоении месторождений нефти.....	51
Быков Л.В., Шумилов М.А. Проектирование фототриангуляции при обработке материалов аэровидеосъемки	56
Евстратова Л.Г. Технология обработки космических снимков с использованием свободно ориентированной пространственной модели, построенной по аэрофотоснимкам	59
Ессин А.С., Быков Л.В., Ессин С.С. Автоматизация стереоскопических измерений при фотограмметрической обработке материалов аэровидеосъемки в целях создания ортофотопланов	61
Савидова С.С. Технологии обработки ДДЗ от LEICA GEOSYSTEMS и ДАТА+	66
Москаленко С.Е. Производственный опыт создания ортофотопланов масштаба 1 : 25 000 с использованием координат центров Проектирования.....	71
Никитин В.Н. Топологический редактор как основа системы сбора картографической информации для цифровой фотограмметрической станции	74
Лесных И.В., Трубина Л.К. Методы информационного обеспечения геоэкологического мониторинга	76
Пластинин Л.А., Ступин В.П., Котельникова Н.В. Картографо-космический мониторинг антропогенных ландшафтов Прибайкалья	81

Ступин В.П. Картографический метод при исследовании морфосистем Байкальского рифта.....	86
Данилин И.М., Медведев Е.М., Данилин А.И., Коневина К.С. Лазерное сканирование и цифровая аэросъемка – новая перспектива лесоэкологического мониторинга и таксации леса	91
Кленов Б.М. Гумус в условиях антропогенного воздействия	97
Елизарова Т.Н., Дитц Л.Ю., Лопатовская О.Г. Особенности мониторинга природных и антропогенных почвенных процессов на юге Сибири	101
Артамонова С.Ю., Рапута В.Ф., Колмогоров Ю.П. Техногенное загрязнение почв и растительного покрова в районе оловокомбината (г. Новосибирск).....	106
Данилов В.А., Артамонова С.Ю. Экология города: биоиндикационный метод оценки воздействия оловокомбината (г. Новосибирск)	111
Якутин М.В., Анопченко Л.Ю. Современные микробиологические методы в геоэкологическом мониторинге молодых почв озерных депрессий Барабы	114
Воронина Л.В. Климат и ландшафтно-экологические аспекты административных районов Новосибирского правобережья	119
Анопченко Л.Ю. Климат в XX веке и обсыхание озер Барабинской равнины	124
Шепелев А.И., Шепелева Л.Ф., Фролов В.Н., Мазитов Р.Г. К методологии экологического мониторинга нефтезагрязненных земель таежной зоны Западной Сибири.....	129
Адмаев О.В., Гавриленко Т.В. Геоэкологический мониторинг придорожной территории с использованием программы CREDO.....	133
Загрявная Г.В., Иванова Т.П. Геоэкологический мониторинг подземных вод аллювиального горизонта в районе золоотвала красноярской ТЭЦ-3	138
Молородов Ю.И., Куценогий К.П. Атлас по атмосферным аэрозолям Сибири как основа обеспечения мониторинга Сибирского региона.	142
Миронычева-Токарева Н.П. Антропогенная динамика степных экосистем Урала (на примере степной зоны юга Челябинской области)	147
Истомин В.Л., Хе В.К. Экспериментальное определение скоростей седиментации пыльцевых зёрен и их агломератов Западной Сибири	151
Беленко О.А. Компьютерная методика определения размера частиц несферической формы	156
Рапута В.Ф. Анализ загрязнения снежного покрова в окрестностях новосибирских ТЭЦ.....	162
Дюхина Е.И. Анализ цифровых изображений для изучения микроструктуры поверхности бобов солодки.....	167
Озерский А.Ю. Состояние и проблемы организации и методики геоэкологического мониторинга подземных вод	172
Озерский Д.А., Комонов С.В., Кузнецов Г.И., Балацкая Н.В., Аникеев В.И., Пихтовников А.Г. Экологический мониторинг безопасности	

шламохранилища Ачинского глиноземного комбината.....	177
Панов Е.А., Озерский А.Ю. Принципы организации экологического мониторинга подземных вод в районах золоотвалов тепловых электростанций Средней Сибири.....	181
Комонов С.В., Озерский Д.А. Экспериментальное исследование процесса пыления поверхности намывного пляжа золошлакоотвала.....	184
Комонов С.В., Озерский Д.А. Моделирование процессов промерзания–оттаивания слоев водонасыщенной золы и льда с целью определения оптимальных параметров криогенной технологии пылеподавления	190
Krupchatnikoff V.N., Krylova A.I. Modeling of climate and land hydrology in coupled climate model	194
Курбанов Б.Т. Применение материалов дистанционного зондирования Земли для сельскохозяйственного мониторинга.....	198
Карпухин С.С. Методологические основы разработки геоинформационных систем с непрерывным потоком космических данных в целях геоэкологического мониторинга.....	203
Сидорова В.С. Кластерный алгоритм для анализа многоспектральных космических изображений поверхности Земли.....	208
Kuzin V.I., Golubeva E.N. Modeling of hydrodynamical and hydrophysical processes in the Aral sea	212
Брыксин В.М., Евтюшкин А.В. Оценка урожайности зерновых культур на основе данных дистанционного зондирования и модели биопродуктивности	218
Хамедов В.А., Петрова Н.А. Обнаружение пожаров по космическим снимкам с использованием вспомогательной информации.....	223
Платов Г.А., Голубева Е.Н. Формирование промежуточных вод Японского моря.....	227
Тутубалина О.В., Шипигина Е.А. Создание серии карт на основе снимков LANDSAT ETM+ для решения задач рационального природопользования на Кольском Севере	232
Кулик Е.Н. Опыт освоения современных технологий обработки данных дистанционного зондирования в институте дистанционного зондирования и природопользования СГГА.....	237
Попов В.А. Мониторинг процессов ландшафтогенеза в кризисных экорегионах аридных стран по разновременным данным дистанционного зондирования земли (на примере Южного Приаралья)	241
Островский Э.Я., Румянцев С.В., Фадеев В.А., Пряников И.В. Неадаптивная стационарная структура цифровых изображений природных комплексов – объективный источник информации	246
Павленко А.В., Макачук А.Л. Разработка методики создания карт динамики нефтезагрязнений по материалам разновременных аэрокосмических съёмок	249
Хлебникова Е.П. Влияние предварительной обработки изображений на качество дешифрирования многозональных снимков.....	253

Никитина Ю.В. Разработка методики повышения достоверности автоматизированного дешифрирования многозональных снимков лесных территорий.....	256
Курбанов Б.Т., Жураев Б., Примов А., Саидханова Ф., Диметов Б. Опыт применения стереообработки материалов аэрофотосъемки при решении народнохозяйственных задач в Узбекистане	261
Коркин В.С. Математическое моделирование в решениях фотограмметрических задач	264
Коркин В.С. Моделирование рельефа с использованием ортонормированных полиномов Чебышева	269
Гопп Н.В., Смирнов В.В. Трёхмерная визуализация поверхности Земли и ГИС-технологии для моделирования и использования в почвоведении	274
Павленко А.В. Разработка технологических схем создания 3D моделей местности по аэрокосмическим снимкам.....	278
Александров М.Ю. Использование данных дистанционного зондирования Земли в различных областях народного хозяйства.....	283
Янкович Е.П., Рихванов Л.П. Использование ГИС-технологий при геоэкологическом анализе природных сред Томского района.....	285