

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

ГЕО-СИБИРЬ-2008

Т. 3

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ФОТОГРАММЕТРИЯ, МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ГЕОЭКОЛОГИЯ

Ч. 2

Сборник материалов
IV Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2008

Ответственные за выпуск:
координаторы направления
«Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия,
мониторинг окружающей среды, геоэкология»

Доктор технических наук, профессор,
проректор по научной работе СГГА, г. Новосибирск
А.П. Гук

Доктор технических наук, профессор,
проректор по учебно-методической работе
Московского государственного университета геодезии и картографии
(МИИГАиК), г. Москва
И.Г. Журкин

Доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент РАН, директор Института вычислительной
математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск
Б.Г. Михайленко

С 26 ГЕО-Сибирь-2008. Т. 3. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Ч. 2 : сб. матер. IV Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2008», 22–24 апреля 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 307 с.

ISBN 978-5-87693-278-5 (т. 3, ч. 2)
ISBN 978-5-87693-271-6

В сборнике опубликованы материалы IV Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2008» направления «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 502:528.7

ISBN 978-5-87693-278-5 (т. 3, ч. 2)
ISBN 978-5-87693-271-6

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Храмова Е.П., Тарасов О.В., Трубина Л.К. Использование метода компьютерного анализа изображений в ботанических исследованиях	10
Габричидзе Т.Г., Янников И.М., Алексеев В.А., Телегина М.В. Прогноз динамики выброса соединений мышьяка потенциально опасным объектом с использованием геоинформационной системы.....	15
Знак В.И. Проект оконного интерфейса фильтров взвешенных порядковых статистик для обработки данных активного вибросейсмического мониторинга.....	22
Кол Н.А., Калуж Ю.А., Ростовцев М.Г., Чульдун А.Ф., Мамаш Е.А. Применение геоинформационных технологий для анализа пространственной динамики Каргинского мезоочага Тувинского природного очага чумы.....	28
Корец М.А., Рыжкова В.А., Данилова И.В. Методика автоматизированного картографирования восстановительной динамики растительности на основе сопряженного анализа данных спутниковой съемки и цифровой модели рельефа местности.....	34
Козориз М.Д., Середович В.А., Шмыговский И.П. Составляющие элементы экологической, промышленной безопасности и охраны недр при добыче нефти.....	41
Щербаков Ю.С. Формирование методического аппарата анализа и оценки природного и техногенного риска	49
Малахова Н.А., Миронычева-Токарева Н.П. Сингенетический этап зарастания отвалов Кузбасса.....	54
Трубина Л.К., Беленко О.А., Дюхина Е.И. Новый подход к представлению объектов растительного и животного мира в базах данных	59
Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П. Среднемасштабное ландшафтное картографирование территории природного парка «Сибирские увалы»	63
Мали В.И., Неронов В.А., Тесленко Т.С., Перминов В.П. Взрывной синтез боридов и других перспективных материалов.....	68
Щербаков Ю.С. Разработка информационных технологий для обеспечения управления безопасностью жизнедеятельности	73
Казьмин С.П. Геоэкологическая ситуация водосборной территории Беловского водохранилища	79
Креймер М.А., Кужельная П.В. Геоэкологическая оценка изменений водопользования в процессе урбанизации Новосибирской агломерации	84
Креймер М.А. Экологический мониторинг и схема территориального планирования субъекта федерации	90
Половников Е.В., Крафт П.А., Тельбух М.П., Белоус И.Н., Казанцев В.А. Зимний солеперенос на разных типах почв Барабинской равнины.....	96

Казанцев В.А., Гриценко А.Г., Дементьев Ю.В. Проблемы и методические аспекты геоэкологического образования	102
Воронина Л.В., Пичугина Н.Ю. Экстремальность климата Новосибирской области и его экологическое значение для природных комплексов ..	106
Якутин М.В., Шепелев А.И., Межуев Е.В. Биомасса почвенных микроорганизмов в мониторинге нефтезагрязненных экосистем средней тайги Западной Сибири	111
Якутин М.В., Дубовик Д.С. Структура запасов почвенного органического вещества в мониторинге молодых экосистем, формирующихся в подзоне сухих степей	117
Устинов М.Т., Казанцев В.А., Магаева Л.А., Глистин М.В. Трансект-катенирование – метод дешифрирования дистанционного зондирования Земли.....	123
Кленов Б.М., Гриценко А.Г. Методологические проблемы в изучении изменения гумуса в условиях антропогенного пресса.....	128
Пучнин А.Н., Якутин М.В. Изменения климата Центральной Якутии в XX веке и эволюция аласных экосистем	132
Якутин М.В., Пучнин А.Н. Почвенно-микробиологические методы в мониторинге аласных экосистем Лено-Вилуйского междуречья	138
Кудряшова С.Я., Дитц Л.Ю., Путилин А.Ф., Чичулин А.В., Шкаруба А.М., Чумбаев А.С., Миллер Г.Ф. Оценка запасов и эрозионных потерь органического углерода в почвах водосборных бассейнов лесостепи Приобья на основе ГИС.....	144
Вовк И.Г., Татаренко В.И. Техногенная геодинамика и безопасность технических систем.....	148
Вовк И.Г. Системный анализ и моделирование пространственно-временного состояния технических систем	152
Иванова Ю.Ю. Особенности определения фенотипических признаков древесных растений для эколого–генетических исследований.....	156
Марусин К.В., Ковалевская Н.М., Фёдорова Е.А., Порозова М.С. Применение данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий для анализа современного состояния и динамики береговой зоны водохранилища	162
Макеев В.Н., Пикунов С.В. Роль комплексного экологического мониторинга в устойчивом развитии Ханты-Мансийского автономного округа – Югры	168
Кузин В.И., Лаптева Н.А. Моделирование климатического речного стока для Сибирского региона	181
Рапута В.Ф. Исследование аэрозольных выпадений примесей в окрестностях Новосибирска	187
Фоменко А.А. Моделирование регионального климата.....	193
Шлычков В.А. Численное исследование перераспределения загрязнителей в русле р. Обь под Новосибирском.....	199

Леженин А.А., Мальбахов В.М., Селегей Т.С., Шлычков В.А. Численное моделирование переноса атмосферных загрязнителей в условиях г. Томска.....	205
Малахова В.В. Моделирование переноса метана в океане от источников, обусловленных субмаринной разгрузкой флюидов.....	213
Ярославцева Т.В., Рапута В.Ф. Модели оценивания атмосферного переноса примесей от площадного источника	220
Юдин М.С. Математическая модель микроклимата местностей с негладкой орографией.....	226
Дубровская О.А., Мальбахов В.М. Использование дистанционного зондирования для исследования взаимосвязей структуры облачности	232
Курбацкая Л.И. Математическая модель для мониторинга климата урбанизированных территорий.....	238
Штемберг М.С. Параллельная версия модели общей циркуляции атмосферы на основе программного продукта PUMA.....	244
Ким П.А. Математическое обоснование масштабируемой модели рельефа: классификационный подход.....	250
Русин Е.В. Технология высокопроизводительной обработки изображений	253
Сидорова В.С. Меры достоверности неконтролируемой классификации данных дистанционного зондирования	259
Арнаутов Г.П., Калиш Е.Н., Стусь Ю.Ф., Смирнов М.Г., Тимофеев В.Ю. Прецизионный мониторинг вариаций силы тяжести, наклонов и деформаций земной поверхности на сейсмостанции «Талая» в Байкальской рифтовой зоне	266
Гопп Н.В., Куликова Е.А., Смирнов В.В. Исследование закономерностей латеральной дифференциации почвенного покрова в зависимости от факторов почвообразования с использованием многозональных и радиолокационных снимков.....	272
Ефимов С.А. Особенности формирования ядра преобразования оптимального фильтра с использованием экспериментальных записей сейсмического поля в ближней зоне от распределенных карьерных взрывов	277
Слинкина О.А., Сухинин А.И., Буряк Л.В. Методика определения степени поражения на пожарах по спутниковым данным	283
Трофимова Н.В., Сухинин А.И., Дубровская О.А. Применение данных MODIS для оценки пожарных эмиссий	288
Александров М.Ю. Немецкий высокодетальный радарный спутник TerraSAR-X. Характеристики, преимущества, выбор критериев съемки, области применения, ценовая политика	293
Новгородцева О.Г. Мониторинг паводковой ситуации по данным дистанционного зондирования и составление карты паводковой обстановки в бассейне р. Обь	304

Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Бойко Е.В. Тектонические и постсейсмические движения Алтае-Саянского региона по GPS данным	308
Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Казанский А.Ю., Метелкин Д.В., Бойко Е.В., Брагин В.Ю. Об унаследованности движений Сибирской платформы (GPS и палеомагнитные данные)	314
Воскобойникова Г.М. Повышение точности определения моментов вступления сейсмических волн с помощью метода обратной фильтрации метода динамического программирования	320
Григорюк А.П., Брагинская Л.П. Опыт веб-картографирования на основе сервиса Google Maps	326
Им С.Т., Харук В.И. Анализ климатически индуцированной динамики экотонагорной лесотундры на основе картографических материалов, космосъемки и цифровой модели рельефа	330

CONTENTS

Khramova E.P., Tarasov O.V., Trubina L.K. The method of computer analysis of magnified images for botanical investigation	10
Gabrishidze T.G., Jannikov I.M., Alekseev V.A., Telegina M.V. The forecast of dynamics of emission of connections of arsenic potentially dangerous object with use geoinformation system.....	15
Znak V.I. The project of the window interface of weighed order statistic filters for processing of data of active vibroseismic monitoring.....	22
Kol N.A., Kalush J.A., Rostovtsev M.G., Chuldum A.F., Mamash E.A. Application of GIS-technologies in Karginsk mezo-focusspatial dynamics analysis of Tuvinian natural plague focus.....	28
Korets M.A., Ryzhkova V.A., Danilova I.V. A GIS-aided methodology for mapping vegetation regeneration dynamics based on a digital elevation modeland satellite imagery spatial analysis	34
Kozoriz Michael D., Seredovich Vladimir A., Shmugovsky Ivan P. Constituent elements of environmental and industrial safetyand conservation of mineral resources in oil production	41
Scherbakov Yu.S. Development of methods for natural and technogenic risks analysis and estimation	49
Malakhova N.A., Mironycheva-Tokareva N.P. Syngenetic stage of coal mine spoil revegetationin the Kuzbass region	54
Trubina L.K., Belenko O.A., Dyukhina Ye.I. New approach to representation of plant and animal kingdom objects in data base	59
Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P. Middle scale landscape mapping of the Sibirskiye uvaly national park.....	63
Maly V.I., Neronov V.A., Teslenko T.S., Perminov V.P. Explosion synthesis of borides and other promising materials	68
Scherbakov Yu.S. Development of information technologies for human activities safety support	73
Kazmin S.P. Geoecological situation of water-modular territory Belov of the water basin.....	79
Kreymer M.A., Kuzhelnaya P.V. Geoecological assessment of changes in water useduring Novosibirsk agglomeration urbanization process	84
Kreymer M.A. Ecological monitoring and R.F. subject territorial planning scheme	90
Polovnikov Ye.V., Kraft P.A., Telbukh M.P., Belous I.N., Kazantsev V.A. Winter salt-transfer on different soils of Baraba plain.....	96
Kazantsev V.A., Gritsenko A.G., Dementyev Yu.V. Problems and methodical aspects of geoecology teaching.....	102
Voronina L.V., Pitchugina N.Yu. Extreme climate conditions of Novosibirsk region and their ecological effect on nature complexes.....	106
Yakutin M.V., Shepelev A.I., Mezhuiev E.V. Biomass of Soil microorganisms and monitoring of oil pollution ecosystems at Middle taiga of Western Siberia.....	111

Yakutin M.V., Dubovik D.S. Structure of stock of soil organic matter in monitoring of young ecosystems forming in a subzone of dry steppes....	117
Ustinov M.T., Kazantsev V.A., Magayeva L.A., Glistin M.V. Transect-catena method for interpretation of the earth remote sensing.....	123
Klenov B.M., Gritsenko A.G. Methodological problems in the study of humus under human impact.....	128
Puchnin A.N., Yakutin M.V. Changes of a climate in Central Yakutia in XX century and evolution of Alas ecosystems	132
Yakutin M.V., Puchnin A.N. Methods of soil microbiology in monitoring of Alas ecosystems on region between Lena and Vilui rivers.....	138
Kudryashova S.Ya., Dits L.Yu., Putilin A.F., Chichulin A.V., Shkaruba A.M., Chunbayev A.S., Miller G.F. GIS-based estimation of organic carbon reserves and erosion damage in forest-steppe drainage basins soils of the Ob vicinity	144
Vovk I.G., Tatarenko V.I. Technogenic geodynamics and engineering systems safety	148
Vovk I.G. System analysis and modeling of technical systems space-time state	152
Ivanova Yu.Yu. Peculiarities of wood species phenotypic signs determination for ecological and genetic investigations.....	156
Marusin K.V., Kovalevskaya N.M., Fedorova E.A., Porozova M.S. Use of satellite image data and GIS for the state and dynamics analysis of the reservoir coastal zone	162
Makeyev V.N., Pikunov S.V., Seredovitch V.A. The role of complex ecological monitoring in a sustainable development of the Khanty-Mansi autonomous area – Yugra.....	168
Kuzin V.I., Lapteva N.A. Modelling of the climatic river runoff for the Siberian region.....	181
Raputa V.F. Survey of aerosol pollution precipitation in the vicinity of Novosibirsk	187
Fomenko A.A. Modeling of the regional climate	193
Shlychkov V.A. Numerical research of redistribution pollutant in a vein of the river Ob near Novosibirsk.....	199
Lezhenin A.A., Mal'bakhov V.M., Selegei T.S., Shlychkov V.A. Numerical simulation of transport of atmospheric pollutants within Tomsk city	205
Malakhova V.V. Modelling of methane transport in the ocean from the sources caused submarine fluid venting.....	213
Jaroslavtseva T.V., Raputa V.F. Estimation model of air pollution transport from area source.....	220
Yudin M.S. Mathematical simulation of local climate for unsmooth orography	226
Dubrovskaya O.A., Malbakhov V.M. The use of remote sensing to investigate interrelations of cloudiness structure	232
Kurbatskaya L.I. Mathematical model for monitoring of urbanized areas climate	238

Shtemberg M.S. The parallel version of model of the general circulation of the atmosphere on the basis of software product PUMA	244
Kim P.A. The mathematical substantiation of scalable model of the relief: the classification approach	250
Rusin E.V. Hi-performance image processing technology	253
Sidorova V.S. Adequacy measures of the remote sensing data uncontrolled classification.....	259
Arnautov G.P., Kalish E.N., Stus Yu.F., Smirnov M.G., Timofeev V.Yu. Sensitive monitoring of variations gravity, tilts and strains of earth surface at the seismic station «Talaja» in Baikal rift zone	266
Gopp N.V., Kulikova E.A., Smirnov V.V. Research of regularities of lateral differentiation of soil cover depending on soil-forming factors with usage of polizonal and ratio-locating survey	272
Efimov S.A. Features of formation of a nucleus of transformation of the optimum filter with use of experimental recordings a seismic field in a near zone from allocated miner explosions	277
Slinkina O.A., Sukhinin A.I., L.V. Buriak Methodology of fire severity detection using satellite data	283
Trofimova N.V., Sukhinin A.I., Dubrovskaya O.A. The use of MODIS data for the estimation of wildfire emission.....	288
Alexandrov M.Y. Radar satellite TerraSar-X. Characteristics, advantages, surveying criteria, applications, price policy	293
Novgorodtseva O.G. Flood monitoring with the use of remote sensing data and mapping of flood situation in the Ob river basin	304
Timofeyev V.Yu., Ardyukov D.G., Boyko Ye.V. Tectonic and postseismic movements of the Altai-Sayan region according to GPS data.....	308
Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G., Kazanskii A.Yu., Metelkin D.V., Boyko E.V., Bragin V.Yu. Siberian platform rotation at different geological epochs (GPS and palaeomagnetic data).....	314
Woskoboynikova G.M. Increasing the accuracy of determining the arrival times of seismic waves with methods of inverse filtration and dynamic programming	320
Grigoruk A.P., Braginskaya L.P. Web cartography based on Google Map service	326
Im S.T., Kharuk V.I. Analysis of climate induced mountainous forest-tundra ecotone dynamics based on cartographical materials, satellite data and digital elevation model	330

УДК 582.711+575.858

Е.П. Храмова, О.В. Тарасов, Л.К. Трубина

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

ФГУП ПО «Маяк», Озерск Челябинской обл.

Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В БОТАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

E.P. Khramova, O.V. Tarasov, L.K. Trubina

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk

Federal State Unitary Enterprise «Mayak» PA, Ozersk

Siberian State Academy of Geodesy ME RF, Novosibirsk

THE METHOD OF COMPUTER ANALYSIS OF MAGNIFIED IMAGES FOR BOTANICAL INVESTIGATION

The method of computer analysis of magnified images was used to measure a leaf plate of the plants *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz (bush cinquefoil) in conditions of man-caused radionuclide contamination. We have established a reduction of leaf surface, a decrease in the growth of yearly leaf sprouts and cuttings in length, and an increase in the number of leaves on a sprout. In this case, as radiation increases by most criteria, distinctions from control tests also increase.

Появление новых методических подходов в изучении растений существенно расширили и видоизменили решаемые морфологические, биохимические и экологические задачи. Помимо традиционно используемых в ботанических исследованиях методов возможно применение метода компьютерного анализа изображений. Особенностью данного метода является использование цифрового изображения для измерения метрических параметров свежесобранного растительного материала, в том числе и без отделения от организма, что исключает его искажение при высушивании; высокую точность измерений; а также сохранение материала в цифровом виде.

Метод компьютерного анализа изображений был использован нами при изучении влияния радиационного воздействия на морфологические параметры листа.

Известно, что в результате радиационной аварии на Южном Урале (ПО «Маяк») в 1957г. сформировался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), который уже 50 лет является уникальным полигоном для проведения экспериментальных работ в природе. Представляло интерес исследовать биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации у растений.

В качестве модельного объекта выбран *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz – пятилистник кустарниковый или курильский чай кустарниковый

из сем. Rosaceae. Растение представляет собой сильноветвистый кустарник до 1.5 м высотой с непарноперистыми листьями и золотисто-желтыми крупными цветками, собранными обычно на концах побегов. Вид широко распространен в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, проникает в Северную Америку, изредка встречается в Западной Европе, на Кавказе, Урале [1, 2].

Цель нашей работы заключалась в выявлении изменений морфологических параметров у пятилистника кустарникового в условиях радиационного воздействия.

Объектами изучения были четырехлетние растения пятилистника кустарникового, высаженные саженцами в 2004 г. в головной части ВУРСа на 2-х участках с разным уровнем загрязнения радионуклидами (опыт) и на фоновом участке вне зоны загрязнения (контроль). Саженцы выращены на экспериментальном интродукционном участке Горно-Алтайского филиала Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (АФ ЦСБС СО РАН, с.Камлак) из семян, собранных в природной ценопопуляции в окр. с. Бичикту-Бом Онгудайского района в Центральном Алтае.

Участок № 1 находится в головной части ВУРСа в 6 км от места взрыва в 1957 году емкости с радиоактивными отходами на оси следа в районе старой дороги с деревянным покрытием – «Лежневки». Расположен на большой освещенной поляне в разреженном березняке паркового типа с редкой примесью сосны на серой лесной почве. Подлесок редкий, в основном, из шиповника. Средняя плотность загрязнения по ^{90}Sr на время исследований составляла 35-39 МБк/м², по ^{137}Cs – 2.2-2.4 МБк/м², по Pu до 96 кБк/м². Гамма-фон на уровне почвы равен 310 ± 80 мкР/ч, плотность β -излучения на поверхности почвы достигает 2180 ± 150 β -частиц/мин.см².

Участок 2 расположен на южном берегу оз. Бердениш на выщелоченных черноземных почвах на территории эвакуированной деревни. Плотность загрязнения по ^{90}Sr во время исследований составляла 15-20 МБк/м², по ^{137}Cs – 0.5-0.6 МБк/м², по Pu до 27 кБк/м². Уровень гамма-фона на поверхности почвы равен 126 ± 29 мкР/ч, плотность β -потока - 819 ± 268 частиц/мин.см².

Плотность загрязнения ^{90}Sr контрольного участка, выбранного за пределами ВУРСа, составляла 0.01-0.04 МБк/м², ^{137}Cs – 4-5 кБк/м². Уровень гамма-фона на поверхности почвы равен 7-11 мкР/ч, плотность β -потока – 5-10 частиц/мин.см².

Участки имеют сходный геоботанический состав растительности.

Для измерения морфометрических параметров брали среднюю пробу с 50-ти особей с каждого участка в фазе плодоношения (сентябрь 2006 г.).

Для промера морфологических параметров был применен метод компьютерного анализа изображений. Для измерения метрических параметров листа проводили съемку цифровой камерой в режиме «макро» с последующей обработкой снимков и интерпретацией результатов средствами геоинформационных технологий и электронных таблиц, используя пакеты прикладных программ «MapInfo» и «Excel 7.0». Исходное изображение сначала

преобразовывали в декартову систему координат, затем проводили векторизацию растровых изображений с последующим вычислением морфометрических характеристик листовой пластинки – длины, ширины, площади, периметра [3].

Метрические признаки листовых пластинок измеряли в следующей последовательности: X_1 – длина черешка листа; X_2 – длина листовой пластинки; X_3 – ширина листовой пластинки; X_4 – ширина конечной доли; X_5 – длина конечной доли (рис. 1).

Измеряли длину каждого годичного побега и подсчитывали количество листьев на нем.

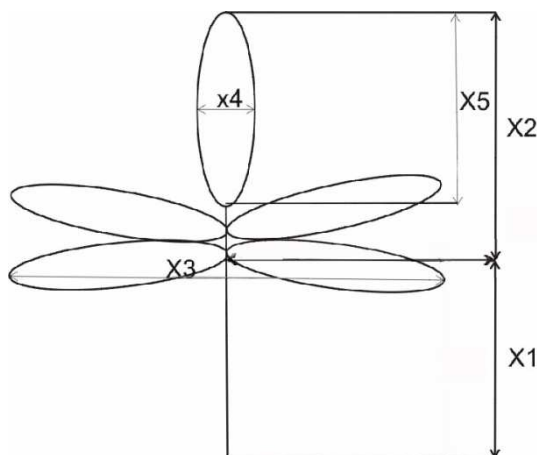


Рис. 1. Порядок измерения листьев *Pentaphylloides fruticosa*, где X_1 – длина черешка листа; X_2 – длина листовой пластинки; X_3 – ширина листовой пластинки; X_4 – ширина конечной доли; X_5 – длина конечной доли

Анализ морфологических признаков пятилистника кустарникового, выращенного в условиях разного радионуклидного загрязнения и контроля, показал, что радиационное воздействие вызвало уменьшение фотосинтезирующей поверхности, снижение прироста годичного побега и черешка листа в длину, причем с увеличением облучения по большинству критериев различия по сравнению с контролем увеличивались (рис. 2, табл. 1).

Это связано, скорее всего, с подавлением ростовых процессов и апикального доминирования у побегов, что находит подтверждение в литературных данных [4–6].

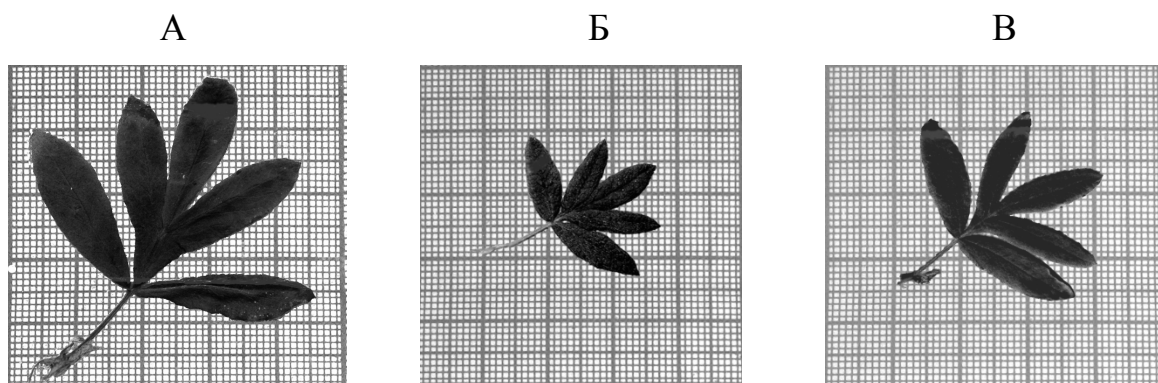


Рис. 2. Листья *Pentaphylloides fruticosa* из разных участков ВУРСа и контроля: А – контроль, Б – участок 1, В – участок 2

В то же время отмечено, что количество листьев на годичном побеге больше у растений, произрастающих на загрязненных участках, по сравнению с контролем, наибольшее их число зафиксировано у растений на участке 1. По-видимому, у этих растений наблюдалась ростовая компенсация за счет увеличения числа листьев на годичном побеге.

Сравнительный анализ формы листа у пятилистника кустарникового из разных по уровню загрязнения участков зоны ВУРСа не выявил существенных различий (рис. 2). Так, значения отношений (длина листа / ширина листа и длина конечной доли / ширина конечной доли) у растений постоянна вне зависимости от уровня загрязнения радионуклидами и равняется 0.7 и 3 соответственно.

Таблица 1. Морфометрические показатели листа пятилистника кустарникового из разных по уровню загрязнения участков

Морфометрические параметры	Контроль	Участки зоны ВУРСа	
		2	1
Площадь листа, мм ²	630±204*	314±151	260±130
Периметр листа, мм	282±57	172±49	155±43
Длина листа, мм (X ₂)	30±6	21±5	19±4
Ширина листа, мм (X ₃)	40±6	29±7	25±6
Площадь конечной доли, мм ²	97±46	62±29	47±25
Периметр конечной доли, мм	47±11	36±8	32±8
Длина конечной доли, мм (X ₄)	22±5	16±3	15±4
Ширина конечной доли, мм (X ₅)	6.6±1.7	5.7±1.7	4.7±1.3
Длина черешка, мм (X ₁)	12±3	10±4	8±3
Длина побега, мм	164±51	136±43	142±37
Количество листьев, шт.	10.6±2,9	11.1±3,8	11.7±2,8
Длина листа/ширина листа	0.7	0.7	0.7
Длина конечной доли/ширина конечной доли	3	3	3

* среднее значение ± стандартное отклонение

В результате проведенного исследования экспериментально показано, что при воздействии радиации на растения пятилистника кустарникового

наблюдаются изменения морфологических параметров. Обнаружено уменьшение листовой поверхности, снижение прироста годичного побега и черешка листа в длину, увеличение количества листьев на побеге, причем по большинству критериев с повышением облучения различия по сравнению с контролем становятся более существенными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Флора Сибири. Rosaceae / Под ред. А.В. Положий и Л.И. Малышева. – Новосибирск, 1988. Т. 8.
2. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. – Новосибирск, 2002.
3. Трубина Л.К. Стереомодели в изучении биологических объектов – Новосибирск, 2006.
4. Позолотина В.Н. Отдаленные последствия действия радиации на растения. – Екатеринбург, 2003.
5. Федоров Е.А., Смирнов Е.Г., Гуро Н.В. Накопление стронция-90 кустарниковым ярусом березового леса // В сб.: Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. – М.: Наука, 1993, С. 68.
6. Мартюшов В.З., Смирнов Е.Г., Тарасов О.В. и др. Накопление стронция-90 кустарниками на территории Восточно-Уральского государственного заповедника // Вопросы радиационной безопасности, 4(1998)42.

© Е.П. Храмова, О.В. Тарасов, Л.К. Трубина, 2008

УДК 519.876.5

Т.Г. Габричидзе¹, И.М. Янников¹, В.А. Алексеев², М.В. Телегина³

¹ГУ МЧС России по УР, Ижевск

²ИжГТУ, Ижевск

³ФТИ УрО РАН, Ижевск

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ВЫБРОСА СОЕДИНЕНИЙ МЫШЬЯКА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫМ ОБЪЕКТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

T.G. Gabrichidze¹, I.M. Jannikov¹, V.A. Alekseev², M.V. Telegina³

¹Central administrative board of the Ministry of Emergency Measures of Russia on UR, Izhevsk, Russian Federation

²Izhevsk the state technical university (ISTU), Izhevsk, Russian Federation

³Physical-Technical Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Science (PhTI UrB RAS), Izhevsk, Russian Federation

THE FORECAST OF DYNAMICS OF EMISSION OF CONNECTIONS OF ARSENIC POTENTIALLY DANGEROUS OBJECT WITH USE GEOINFORMATION SYSTEM

For forecasting probable consequences of extreme situations the new approach to development of geoinformation system for the forecast of dynamics of emission of arsenic is offered. For a basis of calculation of volume, distances and depth of carry the predicting model dependent on time is taken. In view of data from base GIS, the calculated distance up to a source, parameters of a relief there is a calculation of the maintenance of arsenic in each placed point for the set moment of time after emission.

The account of processes and laws of volumes, distances and depths of carry will allow to determine temporary dependences of such events as an atmospheric dispersion, soil sedimentation, vegetative assimilation and migration in soil waters of arsenic.

В современных условиях негативные факторы природного, техногенного и террористического характера являются одной из основных угроз для безопасности населения. Своевременное обнаружение источника опасности и прогнозирование возможных последствий вызванной им чрезвычайной ситуации позволит заблаговременно выполнить комплекс мероприятий, предотвращающих ЧС, максимально возможно уменьшить масштабы негативных последствий и оперативно реагировать на возникающие чрезвычайные ситуации.

При известном источнике выбросов имеется достаточно много способов численного моделирования выброса примесей в атмосферу. Однако учесть

дальнейшую временную динамику отравляющих веществ (ОВ) достаточно сложно [3, 4].

Характеристика химических форм мышьяка среди ОВ, поступающих в почву, получает высокую степень приоритетности. Мышьяк, обладая большей металличностью по сравнению с другими ОВ, проявляет большую лабильность в поведении. Совокупность таких процессов как биометилирование, окисление-восстановление биологической и химической природы, сорбция и десорбция, выветривание, выщелачивание приводит к снижению концентрации неорганических форм мышьяка в почвах, понижению их фитотоксичности, восстановлению экологического равновесия. Природные «механизмы» превращений неорганических соединений мышьяка «работают» в направлении понижения концентрационного уровня содержания токсичных форм этого элемента за счет миграции продуктов его трансформации в естественных природных циклах. Эта одна из важнейших специфических особенностей мышьяка, имеющая общий характер для всех компонентов окружающей среды, включая биоту [4]. Поэтому важно предсказать, как при выбросах мышьяк будет рассеиваться в атмосфере, накапливаться на поверхности земли, ассимилироваться в растениях, включаться в цепь питания и мигрировать в грунтовые воды.

В данной работе предлагается новый подход к автоматизированной обработке данных с использованием геоинформационной системы для прогноза динамики выброса соединений мышьяка потенциально опасным объектом. При этом должен производиться расчет данных динамики мышьяка в разных компонентах окружающей среды по известным параметрам выброса с ПОО.

Сложность расчета и визуализации динамики мышьяка обусловлена разнообразием видов почв и их характеристик. На практике однородность почвенного покрова на территории, достаточной для оценки, встречается редко и показатели, учитывающие пористость различных уровней почвы, скорость фильтрации и т. п., сильно отличаются. Поэтому необходимо учесть не только расстояние на местности источника выброса, но особенности почв, травяного покрова и др. Динамика мышьяка также сильно зависит от рельефа (уклона поверхности и высоты).

Так как при обработке данных необходимо использовать цифровые карты, то предполагается использование геоинформационной системы (ГИС). Существует возможность разработки модуля специализированных функций в готовом программном продукте, а так же разработки оригинальной ГИС с необходимыми функциями [1]. В любом случае в качестве исходной информации должны быть цифровые карты с необходимыми данными (параметрами для расчета модели) и координаты источника выброса. В качестве выходной информации необходимо получить картину распространения соединений мышьяка в отдельных компонентах окружающей среды (поверхностный слой почвы, корневая зона, глубинная почва) на заданный момент времени. Для получения картины распространения ОВ обычно используют пространственную интерполяцию, используя координаты источника и размер выброса. Для получения достоверных значений предлагается

расставить равномерно точки, используемые в дальнейшем для интерполяции, и рассчитать в них значения концентрации, зависящие от расстояния до источника выброса, размера выброса, особенностей и параметров почвы, растительности и рельефа.

Предлагаемый алгоритм обработки данных приведен на рис. 1. Сначала производится равномерная расстановка точек расчета параметров на имеющейся карте местности. Предлагается две разработанные схемы расстановки точек: равномерная прямоугольная сетка и схема с использованием процедуры триангуляции, когда исходными точками для триангуляции являются углы изображения и точки, поставленные экспертом. Существуют интерактивные процедуры редактирования количества и положения точек, сохранение их координат [2].

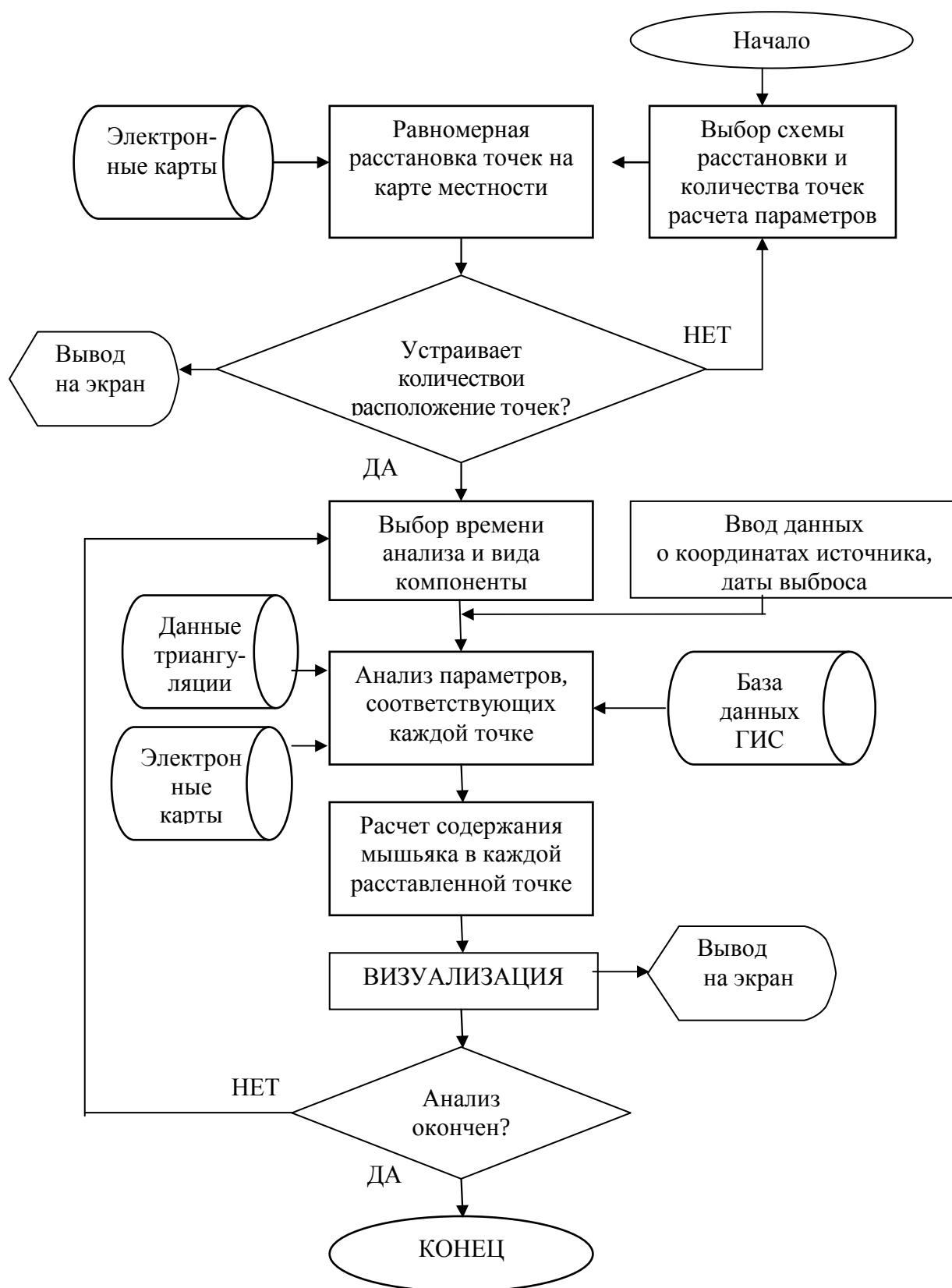


Рис. 1. Алгоритм обработки данных

Далее происходит ввод необходимых данных для расчета: данных о координатах источника, даты выброса, времени анализа и вида компоненты. При анализе параметров каждой расставленной точки используются

имеющиеся цифровые карты почвы, растительности, рельефа и др. В исходном виде электронная карта рельефа поверхности местности представляет собой нерегулярную сеть отметок высот. Для расчета параметров каждой расставленной точки необходимо предварительно провести триангуляцию сети отметок высот и в итоге получить сеть треугольников, соединяющих отметки высот. Для каждой точки, попавшей в соответствующую область треугольника, вычисляется уклон поверхности и высота.

База данных как обязательный компонент ГИС представляет собой приписанные каждому объекту векторного слоя соответствующие атрибуты. Чем разнообразнее почвы, тем шире разброс в содержании мышьяка. Мышьяк мигрирует в почвах, как по вертикали, так и по горизонтали. Поэтому необходимо учитывать следующие параметры: гранулометрический состав почвы, механический состав подстилающей материнской породы, кислотность, порозность, плотность, температуру почвы, количество гумуса в почве и др.

Объемы, расстояния и глубины переноса различны и зависят от многих факторов, однако эти процессы и их закономерности достаточно хорошо известны. За основу расчета взята зависимость от времени прогнозирующая модель, позволяющая рассчитать предполагаемую покомпонентную концентрацию [5].

С учетом данных из базы ГИС, вычисленного расстояния до источника, параметров рельефа происходит расчет содержания мышьяка в каждой расставленной точке на задаваемый момент времени после выброса.

Компоненты модели приведены на рис. 2.



Рис. 2. Компоненты модели

Различные компоненты связываются между собой коэффициентами переноса. Модель рассматривает отложение I_0 на поверхности почвы (I_1) и на листьях растений (I_5). Уровень загрязнения, проникающего непосредственно в почву (внесение удобрений), обозначен I_2 .

Уравнения, определяющие динамику металла в компонентах окружающей среды, выглядят следующим образом:

$$Q_1 = I_1 + Q_5 K_{51} - Q_1 (K_1 + K_{12})$$

$$Q_2 = I_2 + Q_1 K_{12} - Q_2 (K_{25} + K_{23})$$

$$Q_3 = R_2 K_{23} - Q_3 K_{34}$$

$$Q_4 = Q_3 K_{34} - Q_4 (K_4 + K_{45})$$

$$Q_5 = I_5 + Q_4 K_{45} + Q_2 K_{25} - Q_5 (K_5 + K_{51})$$

где Q_i – количество металла в компонентах окружающей среды;

K_{ij} – межкомпонентные коэффициенты переноса.

Рассчитанные значения содержания мышьяка с использованием данной модели в каждой расставленной точке необходимы для процесса визуализации, предполагающего создание интерполяционной картины распределения мышьяка с выбором среды (почва, растения, прикорневой слой и т. д.) и времени после выброса. Предлагается использовать линейную интерполяцию, при которой производится расчет концентрации для каждой точки внутри треугольника и ей присваивается соответствующий значению цвет.

Существуют следующие режимы визуализации: области распределения в виде непрерывного растра; области распределения, в которых значения превышают определенный задаваемый уровень, например ПДК; и в режиме изменения прозрачности растрового слоя.

В системе предусмотрены: задание временного шага просмотра, выбор графического режима показа изменения концентрации в течение расчетного времени со времени выброса выбранной компоненте в точке – узле интерполяции; построение произвольно заданного на местности профиля по интерполированной картине на заданное время анализа и визуализация графика концентрации мышьяка вдоль профиля.

Таким образом, новизна предлагаемого подхода заключается в расчете динамики соединений мышьяка в равномерно автоматически расставленных точках, что позволит получить достоверную картину покомпонентного распределения в виде областей с учетом, как параметров рельефа, так и параметров, имеющих в базе данных ГИС по объектам соответствующих цифровых карт. Учет процессов и закономерностей объемов, расстояний и глубин переноса, окажется особенно полезным в предсказании временной зависимости таких событий как атмосферная дисперсия, почвенное осаждение, растительная ассимиляция и миграция в почвенные воды мышьяка. Разнообразие разработанных режимов визуализации позволит повысить наглядность и удобство пользования разрабатываемой ГИС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев В.А., Телегина М.В., Цапок М.В. Геоинформационная система, как инструмент оценки экологической обстановки на почве // Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве». – Новокузнецк, Сибирский государственный индустриальный университет, 2007. С. 113–114.
2. Алексеев В.А., Телегина М.В., Цапок М.В. Основные принципы геометрической расстановки постов наблюдения атмосферного воздуха в зонах влияния химически опасных объектов. // Сборник докладов 9-й Международной научно-практической конференции «Экономика, экология и общество России в 21-м столетии». Санкт-Петербург, 2007. С. 50.
3. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
4. Янников И.М., Габричидзе Т.Г., Зубко Т.Л. Изучение влияния мышьяк-содержащих соединений и возможность организации прогнозирования чрезвычайных ситуаций на химически опасном объекте // Интеллектуальные системы в производстве, Ижевск, ИжГТУ № 1, 2007. С. 113–118.
5. Bignoli J., Sabbioni E. Environmental assessment of arsenic released from potential pollution sources. Environ. monit. and assessment. 1984, 4, № 1, 93, 65.

© Т.Г. Габричидзе, И.М. Янников, В.А. Алексеев, М.В. Телегина, 2008

УДК: 004.582 + 519.24.8

В.И. Знак

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ПРОЕКТ ОКОННОГО ИНТЕРФЕЙСА ФИЛЬТРОВ ВЗВЕШЕННЫХ ПОРЯДКОВЫХ СТАТИСТИК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АКТИВНОГО ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

V.I. Znak

ICM&MG of SB of RAS

prosp. acad. Lavrentieva, 6, 630090, Russian Federation

THE PROJECT OF THE WINDOW INTERFACE OF WEIGHED ORDER STATISTIC FILTERS FOR PROCESSING OF DATA OF ACTIVE VIBROSEISMIC MONITORING

Weighed order statistic filters are widely used for processing of data that have a form of time series. However, they are not sufficient adapted for periodic signals processing. Here, we propose to use a special filters that named as co-phased ones and consider appropriate window interface.

Взвешенные порядковые статистики весьма успешно используются для обработки сигналов, которые можно представить в виде временного ряда. Простейший представитель такого фильтра – медианный. Первое определение соответствующего метода введено более ста лет назад [1]. Не акцентируя внимание на его специфике и методах практической реализации (чему посвящено весьма и весьма большое количество работ), отметим только его основные черты, которые и определили интерес к нему: 1) высокая способность устранять импульсные помехи (при этом снижая уровень прочих), 2) сохранять ступеньки сигнала, имеющего вид телеграфной последовательности.

На содержательном уровне медианной фильтрацией называется замена центрального элемента (СЕ) списка образцов, поступивших на вход фильтра, медианой соответствующего вариационного ряда, понимаемого в статистическом смысле. При этом полагается, что все образцы равноправны (имеют единичные веса). Шаг на пути обобщения таких фильтров – присваивание различным образцам на входе фильтра различных весов, что и определило их название как взвешенно порядковых (ВП) фильтров. Это изменяет свойства вариационного ряда и, как результат, изменяет свойства фильтра.

В нашем случае ВП фильтры представляют интерес для обработки зашумленных данных вибросейсмических исследований. Основу же такого вида данных составляют периодические сигналы, что значительно ограничивает возможности ВП фильтров. Имеется ряд работ, рассматривающих вопросы их

адаптации к обработке периодических сигналов, наиболее интересной из которых представляется [2]. Новизну изложенного здесь подхода определило введение отрицательных весов. Однако в данной работе, с одной стороны, не учитываются эффекты дискретизации сигнала, а с другой – не рассматривается случай нулевых весов. Соответствующее обобщение рассмотрено в работах [3, 4], что привело к понятию ко-фазного ВП фильтра.

В последнем случае список образцов на входе фильтра изменяется на каждом последующем шаге фильтрации, что кардинально меняет характеристики фильтра. Его достаточно высокая эффективность продемонстрирована в ряде модельных испытаний и накоплен некоторый опыт обработки практических данных. Однако проектирование фильтра и воплощение его в языке, понятном компьютеру, представляет определенные трудности. Предлагаемый проект оконного интерфейса ко-фазных ВП фильтров для обработки данных активного вибросейсмического мониторинга преследует как раз цель снижения трудоемкости создания и эксплуатации данных фильтров.

В силу того, что особенности ко-фазных ВП фильтров достаточно освещены в последних отмеченных работах, здесь рассмотрим только этапы задания фильтра в диалоговом режиме на основе оконной технологии. Достоинствами такой технологии является не только возможность избавить пользователя от рутинной работы, но и представить ему необходимые пояснения и подсказки. В данной работе специфика фильтра следует из существа предлагаемых этапов и комментариев к ним.

Вид исходного информационно управляющего окна представлен на рис. 1. Далее, для сокращения изложения, вместо понятия информационно управляющего окна будет использовано понятие «пульт», тем более, что окно включает в себя не только информационные боксы, но и элементы управления.

Introducing Control Data for Weighted Oder Statistics Filter

I. Search File Path

Click here to Select File to Processing

FileParametres

No	Parameter	Value	

II. Mark Choice Boxes to Dinote Significance Samples for one/two Filter(s)

Фильтр симметричен длины=2R+1 (R - номер последнего из помеченных членов)

Обязательный член - CE (прочие - согласно маркировки, см. Mark Choices)

Control 1

☐
☐
☐
☐
☐
☐
☐
☐
☐
☐

Control 2

☐
☐
☐
☐
☐
☐
☐
☐
☐
☐

III. Input Control Data

Click here

Рис. 1. Исходное информационное окно задания ко-фазного ВП фильтра

Первым из необходимых этапов является, естественно, выбор объекта анализа, точнее, файла, содержащего необходимые данные. Данный этап помечен на предложенном пульте номером I (Search File Path). Процесс выбора объекта анализа стартует после активизации (левой кнопкой «мыши») кнопки «Click here to Select File to Processing», содержащегося в пределах рамки, ограничивающей набор элементов этапа I. Далее пользователь получает доступ ко всем директория данного компьютера и содержанию прочих дисков, на которые имеется соответствующий выход.

Результат активизации представлен на рис. 2. В принципе, это стандартное окно визуализации директориев, файлов и соответствующих путей (окно-эксплорер).

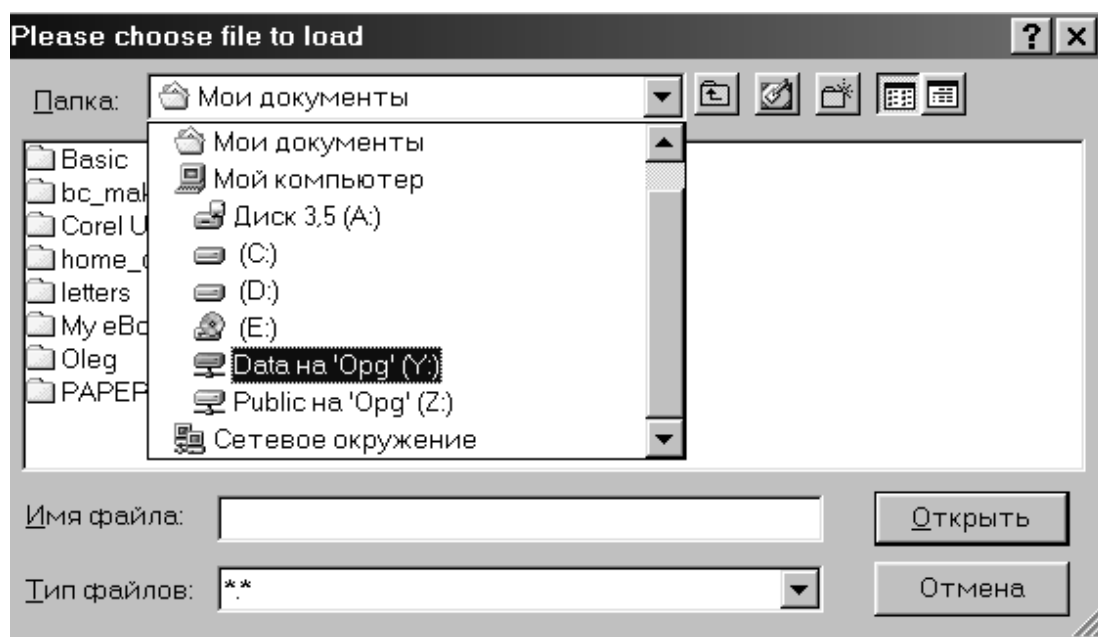


Рис. 2. Процесс выбора файла, подлежащего обработке

Процесс выбора завершается активизацией элемента «Открыть» на пульте эксплорера. Информация о результатах выбора появляется в исходном окне в соответствующих информационных боксах (см. рис. 5, информационные боксы этапа I). В первом боксе-строке приводится имя файла, включая путь от корневого директория. Во втором боксе – мини-окне, перечисляются параметры (Parameter), взятые из паспорта файла, и их значения (Value).

Далее предлагается использовать боксы и элементы управления, содержащиеся в пределах рамки, ограничивающей набор элементов этапа II. Это этап пометки пользователем тех образцов из списка, поступающего на вход фильтра, которые предлагается использовать для формирования результата фильтрации. В силу ограниченности информационного пространства окна в целом и рамки этапа в частности, здесь приведен только необходимый минимум понятий и пояснений. Он включает иллюстрацию периодического сигнала с возможным распределением образцов и пояснением, как эти образцы будут использованы. Ряд из них имеют вид подсказки и появляются только при установке «мыши» над соответствующими боксами (на рис. 5 связь текста подсказки с боксом отмечена стрелкой). Верхняя из них поясняет рисунок «Скольжение по данным позволяет исследовать весь массив», Нижняя, связанная с элементом «Control 2», поясняет, что в случае использования второго фильтра, скользящем над массивом данных параллельно с первым, результатом будет композиция выходов обоих звеньев.

Сам процесс пометки образцов заключается в активизации мини-боксов первого или второго звена (контролирующих первый или второй фильтр, соответственно). Мини-боксы, активированные «мышью», помечаются галочкой. Проверка информации, принятой с того или иного звена мини-боксов, производится активизацией соответствующей кнопки «Control 1» или «Control 2». Как следствие этого появляется соответствующее панно. На рис. 3, в качестве

примера, представлено панно контроля звена мини-боксов второго фильтра. Здесь информируется, что длина второго фильтра – четыре периода сигнала, при этом число помеченных образцов, из поступающих на вход фильтра (активных элементов) три: крайние и СЕ.

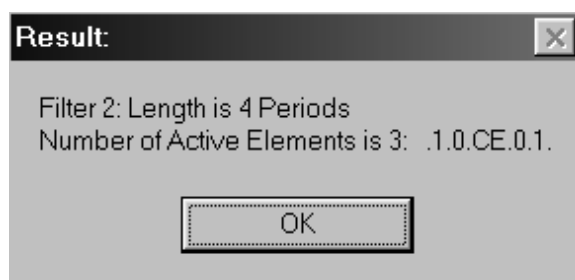


Рис. 3. Панно контроля мини-боксов второго фильтра

Наконец, на этапе III (Input Control Data), производится ввод управляющих данных. Соответствующий процесс начинается с активизации кнопки «Click here». Этим активируется диалоговое окно, представленное на рис. 4.

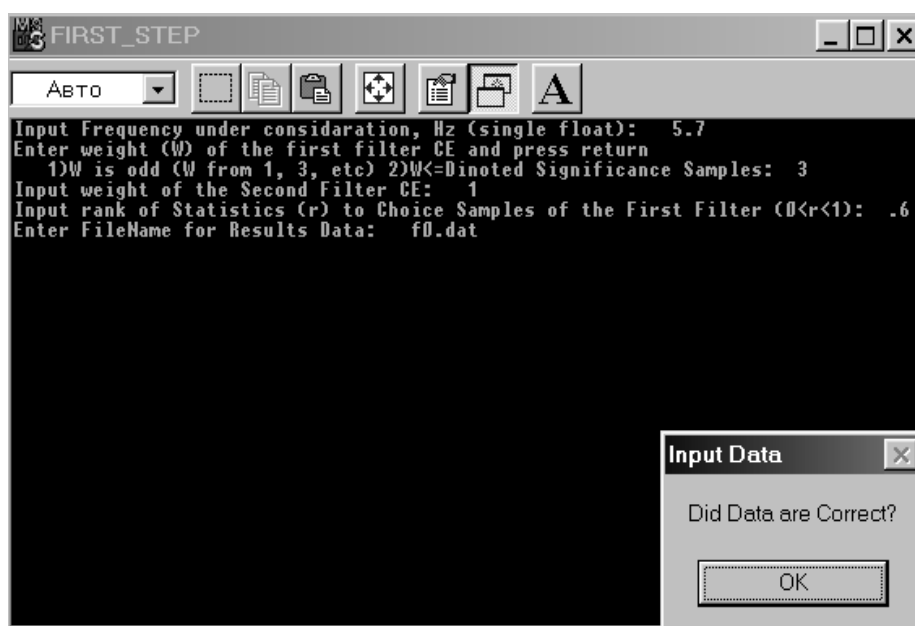


Рис. 4. Диалоговое окно задания управляющих данных

Сам диалог определяется вопросами, последовательно поступающими в окно и ответов пользователя. С ответом на последний вопрос в информационные боксы этапа вводится соответствующая информация и возникает панно с вопросом, корректны ли введенные данные.

Далее в действие вступают механизмы фильтрации и результат складывается в соответствующем файле, названном пользователем в ответе на последний вопрос компьютера.

Introducing Control Data for Weighted Oder Statistics Filter

I. Search File Path

Click here to Select File to Processing

D:\MyDocs\Basic\WindExplorer\05400101.07z

FileParametres

No	Parameter	Value
14	Correction of Recording Start,Msec	756843
15	Sampling Frequency	250
16	Number of Records at Seance	24811

Sliding over Data Anable Research all Dimention

II. Mark Choice Boxes to Dinote Significance Samples for one/two Filter(s)

Фильтр симметричен длины $-2R+1$ (R - номер последнего из помеченных членов)

Обязательный член - СЕ (прочие - согласно маркировки, см. Mark Choices)

Control 1 ☒ ☐ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Control 2 ☐ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Case of the Using of two Filters will Put into Effect Composition

III. Input Control Data

Work Frequency is 5.7 Hz

File of Result Data: f0.dat

W1=3 r1=.6 Click here W2=1 r2=0.400000

Рис. 5. Информационно-диалоговое окно ко-фазного ВП фильтра

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. F.Y. Edgeworth, «A new method of introducing observations relations relating to several quantities», Phil. Mag. (Fifth Series), vol. 24, 1887.
2. Arce, G.R. A General Weighted Median Filter Structure Admitting Negative Weights «IEEE Transactions on Signal Processing», vol. 46, NO. 12, DECEMBER 1998.
3. В.И. Знак. Синфазно-взвешенный медианный фильтр и некоторые вопросы оценки качества его отклика на частотно-модулированный сигнал. Сибирский журнал вычислительной математики, Т. 6, 2003 г., № 3, С. 31–40.
4. V.I. Znak, Co-Phased Median Filters, Some Peculiarities of Sweep Signal Processing, Mathematical Geology, 37(2), 2005, 207–221.

УДК 528.94+616.981.45

Н.А. Кол¹, Ю.А. Калуш¹, М.Г. Ростовцев², А.Ф. Чульдум¹, Е.А. Мамаш¹

¹ Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения РАН, Кызыл

² Федеральное государственное учреждение здравоохранения «Тувинская противочумная станция» Роспотребнадзора, Кызыл

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ КАРГИНСКОГО МЕЗООЧАГА ТУВИНСКОГО ПРИРОДНОГО ОЧАГА ЧУМЫ

Kol N.A.¹, Kalush J.A.¹, Rostovtsev M.G.², Chuldum A.F.¹, Mamash E.A.¹

¹ Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl

² Tuvinian Anti-plague station, Kyzyl

APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES IN KARGINSK MEZO-FOCUSSPATIAL DYNAMICS ANALYSIS OF TUVINIAN NATURAL PLAGUE FOCUS

On the basis of data collected in Tuvinian natural plague focus (southwest Tuva) by the employees of Tuvinian Anti-plague station since 1964 for 2006 in Tuvinian Institute for the Exploration of Natural Resources SB RAS the geoinformation system «Karginsk plague epizootic mezo-focus» has been created. Yearly layers of plague points and, received on their basis, polygonal layers of infection zones and zones of plague cultures detection are imposed on the topographical basis. Corresponding attributive tables of the database contain the following information: the name of the infected animal from which the plague has been picked out, the date and the way of material gathering. Also values of heights of plague points are calculated and brought in the database.

The geoinformation analysis of spatiotemporal dynamics of Karginsk plague mezo-focus has shown the distinct tendency to plague epizootic moving in the northwest direction – upstream the river Kargy and the presence of 4 years cycle of areas fluctuations of zones of plague cultures detection. Time dynamics of the infection zone can be approximately presented by the logistical model that enables to make the assumption of plague filling of ecological niche in the valley of the river Kargy.

На юго-западе Тувы в 1964 году был открыт природный очаг чумы [1]. В настоящее время его границы лежат в пределах Монгун-Тайгинского и Овюрского кожуунов (районов). На сегодняшний день в Тувинском природном очаге чумы зарегистрировано около 1,5 тысяч культур этой инфекции, выделенных сотрудниками Тувинской Противочумной станции в Тувинском природном очаге чумы за 42 года мониторинга (с 1964 по 2006 год.).

Рассматриваемый очаг, вероятно, является северной частью Монгольского природного очага чумы и представляет непосредственную угрозу населению, проживающему на его территории [2]. Территория очага разделяется на шесть относительно самостоятельных мезоочагов. Для анализа нами выбран Каргинский мезоочаг, как наиболее репрезентативный. На его территории на настоящий момент выделено наибольшее количество культур чумы – 895 [3].

Одной из важнейших мер по предотвращению возможных эпидемий чумы является мониторинг за эпизоотийной территорией, проводимый силами Тувинской противочумной станции. Большим подспорьем для этого мониторинга является использование с 2006 года в ТИКОПР СО РАН геоинформационных технологий. Средства электронного картографирования на основе ГИС расширяют возможности использования географического метода для анализа распространения природных очагов, выявления закономерностей долговременного существования и циркуляции возбудителей, отображения динамики эпизоотических процессов [4].

Целью данного исследования было выявление пространственной динамики эпизоотий чумы в Каргинском мезоочаге, то есть отслеживание во времени изменений месторасположения эпизоотий чумы.

Составление географической информационной системы «Каргинский мезоочаг чумы» проводится на основе инструментальных пакетов программного обеспечения ArcInfo и ArcView GIS.

ГИС «Каргинский мезоочаг чумы» состоит из следующих электронных картографических слоев: топографической основы; ежегодных слоев точек обнаружения культур чумы с таблицами атрибутов; полигональных слоев зон заражения и обнаружения культур чумы, сгенерированных на основе слоев точек обнаружения культур чумы.

Для создания слоев топоосновы были использованы 4 листа карты масштаба 1: 100 000. На их основе были векторизованы линейные слои: «реки»; «озёра»; слой горизонталей с шагом в 40 м.

Атрибутивная таблица «Культуры чумы Каргинского мезоочага чумы» к слоям точек обнаружения чумы содержит информацию о материале, из которого выделена чума, дате и способе сбора материала, номере сектора, высоте местности над уровнем моря и названии урочища, в котором она обнаружена.

Для определения координат Z (высоты над уровнем моря) точек обнаружения культур чумы, были взяты значения координат X , Y , Z с шагом 3 секунды из полученных по сети Интернет файлов данных формата *.hgt и выбраны значения Z по значениям координат X , Y [5]. Таким образом, в атрибутивной таблице было сформировано поле, содержащее значения высоты над уровнем моря в метрах для каждой точки обнаружения культур чумы.

Для характеристики пространственной динамики напряженности эпизоотического процесса изучалось изменение географических координат точек выделения культуры чумы на местности за все годы с эпизоотиями.

Для определения тенденции направления перемещения эпизоотий чумы мы вычислили ежегодные географические координаты «центра тяжести» точек

обнаружения культур чумы, как среднее значение координат за весь период с начала наблюдений, до текущего года.

Вычисления производились для временного промежутка 1964 г., 1964 – 1965 гг., 1964 – 1966 и так далее, полученные значения координат X_c и Y_c точек «центров тяжести» были нанесены на электронную карту мезоочага и соединены линией, которая показывает на какое расстояние, и в каком направлении перемещался «центр тяжести» точек выделения культуры чумы год от года. На этой карте заметна четкая тенденция перемещения «центра тяжести» точек выделения культуры чумы на северо-запад вверх по течению реки Каргы. С 1967 года по 2006 год «центр тяжести» сместился на 12 657 м со средней скоростью 324,5 м в год. Это показывает, что зона заражения продолжает расширяться и, в основном, в северо-западном направлении.

Более детальная и информативная для практического применения карта была получена способом нахождения точки называемой «центром тяжести» (center of gravity), требующим раздельного усреднения координат X и Y по всем точкам покрытия [6, 7, 8] отдельно для каждого года. Она позволяет зоологам и эпидемиологам специализированной организации ФГУЗ «Тувинская противочумная станция» планировать свою деятельность по поиску эпизоотии чумы, а также заблаговременно проводить противоэпидемические мероприятия в очаге.

Средняя ежегодная высота над уровнем моря точек обнаружения культур чумы вычислялась по формуле:

$$Z_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i, \quad (1)$$

где Z_c – средняя ежегодная высота точек обнаружения культур чумы, Z_i – высота над уровнем моря i -той точки обнаружения культур чумы, N – количество точек обнаружения культур чумы за период исследования.

В результате проведённых вычислений получен график изменения координаты Z_c средней ежегодной высоты над уровнем моря точек обнаружения культур чумы с 1964 по 2006 годы. Показано, что, несмотря на наличие колебаний ее значений в отдельные годы, существует лишь незначительная тенденция перемещения средней ежегодной высоты культур чумы вверх по высоте местности. С 1964 года по 2006 год значения линейного тренда средней ежегодной высоты точек обнаружения чумы увеличились всего на 4 метра.

Минимальное значение высоты Z_i точек обнаружения культур чумы равно 1 736 м над уровнем моря, максимальное – 2 478 м над уровнем моря. Все находки инфицированных животных и насекомых были сделаны в трех ландшафтных поясных зонах: в поясе сухих степей; в поясе горных степей и в субальпийском поясе. Наибольшая активность чумы наблюдается в поясе горных степей. Здесь значительную долю в фитоценозах составляют ксерофиты, в большинстве своем относящиеся к злакам и полыням. Преобладают фаунистические комплексы характерные для открытых пространств с горной спецификой. Из мелких млекопитающих широко распространены длиннохвостый суслик, слепушонка, в скальных останцах – горные полевки, по увлажненным местам – даурская пищуха.

Для исследования изменений размеров площади заражения чумой территории Каргинского мезоочага нами были сформированы полигональные слои зон заражения чумой за временные периоды, аналогичные выше приведенным (1964, 1964 – 1965, 1964 – 1966, и так далее вплоть до 1964 – 2006) с помощью программы ArcInfo. При этом границами полигона стали линии, соединяющие крайние (наиболее удаленные от центра) точки выделения чумы за исследуемый период. Полученные слои, будучи наложенными на топографическую основу, показывают динамику изменения площади зоны заражения с 1964 по 2006 гг. Из графика численных изменений площади заражения следует, что за первые 7 лет изучения мезоочага, площадь зоны заражения резко возрастала, в последующем этот процесс начал замедляться, приобретая все более плавный характер, и только в 2002 году отмечается некоторый скачок. В целом, полученная кривая может быть достаточно близко аппроксимирована логистической кривой (модель Ферхюльста $\dot{x} = ax - bx^2$), что, позволяет выдвинуть предположение о заполнении чумой экологической ниши в долине реки Каргы, то есть о проникновении чумного микроба за анализируемый период в большинство благоприятных для его обитания мест [9].

Само уравнение зависимости изменения площади зон заражения чумы от времени имеет следующий вид:

$$S = \frac{a \cdot \exp(a(t-1962))}{(c + b \cdot \exp(a(t-1962)))} + 225, \quad (2)$$

где S – площадь зоны заражения, $a = 1$, $b = 0,004105$, $c = 1,8$, t – год обследования мезоочага начиная с 1964 года.

В дальнейшем мы исследовали временную динамику изменения площадей зон обнаружения культур чумы. Для построения полигональных покрытий были использованы линии, соединяющие наиболее удаленные от центра точки выделения чумы. Эта процедура проводилась отдельно для каждого года обследования. Полученные значения площадей ежегодных зон обнаружения культур чумы представлены на рис. 1.

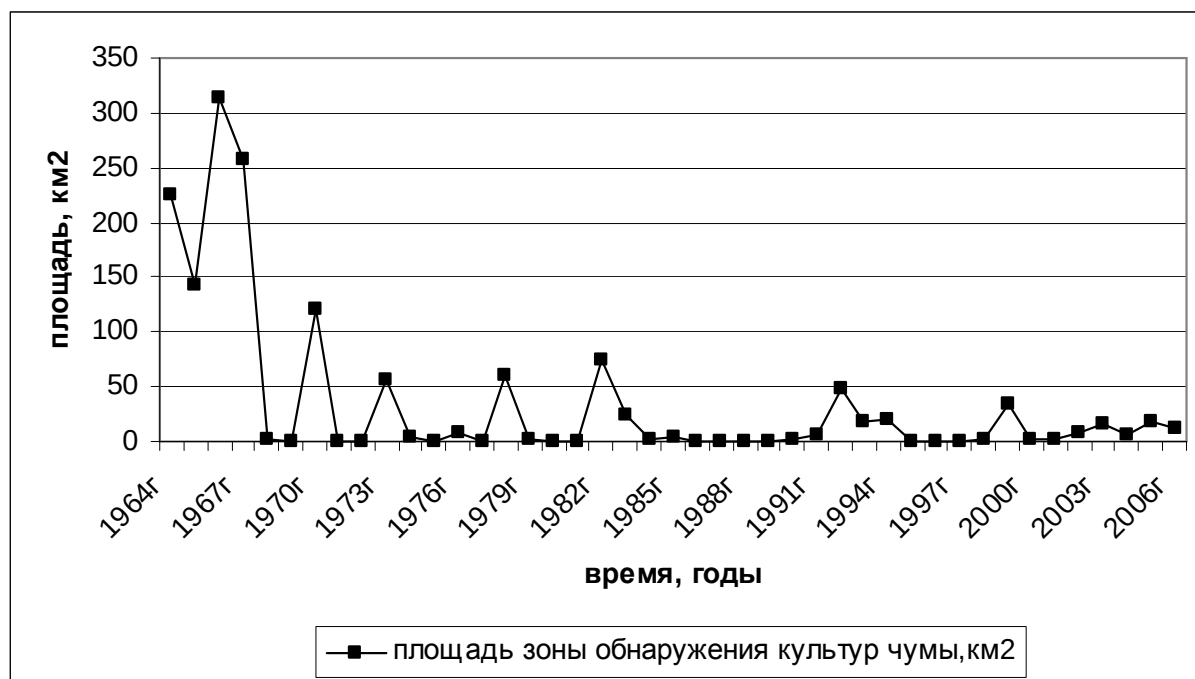


Рис. 1. Динамика площади зон обнаружения чумы в Каргинском мезоочаге Тувинского природного очага чумы

Наибольшие площади зон обнаружения культур чумы наблюдались в 1966 г. – 313,8 км² и 1967 г. – 258,4 км². Наименьшие – в 1969 году 0,01 км², в 1980 году – 0,14 км², а в 1971, 1975, 1981, с 1986 по 1989, с 1995 по 1997 гг. площади зон обнаружения чумы были близки к нулю.

С 1964 по 1985 годы, на протяжении более 20 лет, выявлен четкий ритм флуктуаций значений ежегодной площади обнаружения чумы. Через каждые 3-4 года наблюдалось увеличение эпизоотийной площади. Чтобы исключить влияние человеческого фактора, был проведен корреляционный анализ, который показал слабую зависимость между указанным ритмом и интенсивностью полевых работ. Так коэффициент корреляции между периметром выявленной зоны обнаружения культур чумы и количеством рабочих дней затраченных на обследование мезоочага равен 0.23, а между площадью выявленной зоны обнаружения чумы и количеством рабочих дней затраченных на обследование мезоочага – 0.33.

С 1985 года данный ритм нарушился, что может быть обусловлено дератизацией, проводившейся в мезоочаге в это время [10] и резким снижением финансовых средств, выделяемых на мониторинг. В последнее время наблюдается тенденция к восстановлению этого ритма, о чем можно будет говорить с уверенностью в ближайшие несколько лет.

В результате геоинформационного анализа Каргинского мезоочага чумы было обнаружено, что:

1. Расширение зоны заражения животных чумой происходит в основном в северо-западном направлении, вверх по течению реки Каргы; естественных преград для дальнейшего распространения эпизоотии в данном направлении

не существует. По вертикали зона заражения ограничена высотами 1700 – 2500 метров, что связано с ландшафтными поясными зонами;

2. Временная динамика изменения площади заражения приблизительно описывается логистической кривой и можно выдвинуть предположение о заполнении чумой экологической ниши в долине реки Каргы;

3. Наличие флуктуаций площадей обнаружения культур чумы с 4-летним циклом, позволяет предположить наличие некоторого фактора, являющегося благоприятным для развития эпизоотий чумы.

Работа поддержана грантом Российского Фонда Фундаментальных Исследований проект № 07-05-96812 р_енисей_a.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Летов Г.С. Северо-Западная окраина Монгольского очага чумы. // Доклады. – Иркутск: Противочум. ин-т. – 1966. – Вып. 7. – С. 38–43.

2. Природные очаги чумы Кавказа, Прикаспия, Средней Азии и Сибири / под ред. Онищенко Г.Г., Кутырева В.В. – М.: ОАО «Издательство Медицина», 2004. – 192 с.

3. Ростовцев М.Г., Хомушку Е.Ч., Калуж Ю.А., Чульдун А.Ф. Новый подход к оценке сезонной активности Каргинского участка очаговости Тувинского очага чумы // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской Академии медицинских наук. – Иркутск, 2004. – Т. 2, №1. – С. 157–160.

4. Хайтович А.Б., Коваленко И.С. Природные очаги инфекций на территории Украины // ArcReview современные геоинформационные технологии. – М., 2006. – № 4 [35]. – С. 11.

5. <http://netgis.geo.uw.edu.pl/srtm/Europe> – сайт с космическими снимками и картами в формате *.hgt.

6. ДеМерс, Майкл Н. Географические информационные системы. Основы.: Пер. с англ. – М.: Дата+, 1999. – 489 с.

7. McGrew, J.C., and C.B. Monroe. Statistical Problem Solving in Geography. Dubuque, IA: Wm. C. Brown Publishers. 1993.

8. Muehrcke, P.C., and J.O. Muehrcke. Map Use: Reading, Analysis, Interpretation. Madison, WI: J.P. Publications, 1992.

9. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяції і сообщества: В 2-х т. Т. 1.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 667 с.

10. Немченко Л.С. Итоги разработки методов контроля численности носителей возбудителя чумы в Сибирских природных очагах // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской Академии медицинских наук. – Иркутск, 2004. – Т. 2, № 1. – С. 147–148.

© Н.А. Кол, Ю.А. Калуж, М.Г. Ростовцев, А.Ф. Чульдун, Е.А. Мамаи, 2008

УДК 630*11/182+681*3

М.А. Корец, В.А. Рыжкова, И.В. Данилова

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

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ СОПРЯЖЕННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ И ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

M.A. Korets, V.A. Ryzhkova, I.V. Danilova

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS (SIF)

Akademgorodok 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

A GIS-AIDED METHODOLOGY FOR MAPPING VEGETATION REGENERATION DYNAMICS BASED ON A DIGITAL ELEVATION MODEL AND SATELLITE IMAGERY SPATIAL ANALYSIS

This report addresses a GIS-aided method of forest vegetation dynamics mapping based on a combined analysis of multi-band optical satellite data, a digital elevation model (DEM), and ground data. An unsupervised classification procedure applied to remote sensing (RS) scenes and DEM-composite (elevation, slope and curvature) images is used to map forest vegetation dynamics and growth conditions in combination with spatial intersection and generalization approaches. Based on the methodology described, Landsat 7 ETM+ satellite imagery, SRTM 90m DEM, and field data were processed for the Lower Angara test site. The resulting map includes two polygonal vector layers: one is forest regeneration stages and the other is forest vegetation succession series in a range of site conditions.

Оценка и сохранение устойчивости лесных экосистем в условиях возрастающего антропогенного влияния на окружающую среду представляет одну из важнейших задач лесной науки. За последние пятьдесят лет бореальные леса Сибири претерпели существенную трансформацию, связанную как с прямым хозяйственным использованием лесов, так и с воздействием на них рубок, пожаров, энтомовредителей, промышленных эмиссий и стихийных бедствий. В результате происходит глубокое нарушение природного равновесия лесных экосистем, изменение их биоразнообразия и экологических функций.

Целью наших исследований является разработка на основе ГИС-технологий автоматизированных подходов к инвентаризации, картографированию и оценке современного состояния и восстановительной динамики лесных экосистем для разработки системы их мониторинга при различных антропогенных воздействиях.

На примере тестового участка в Приангарье в рамках ГИС «Леса Средней Сибири» [1] разработана и апробирована методика автоматизированного

формирования карты восстановительной динамики растительности на основе сопряженного анализа данных космической мультиспектральной съемки (Landsat ETM+), цифровой модели рельефа местности и материалов наземных исследований.

Для систематизации разнообразия растительности района исследований был использован генетический подход Б.П. Колесникова [2], т. е. разнообразие насаждений систематизировалось не по изменчивым внешним признакам (например, видовой состав), а по сходству условий местопроизрастания, происхождению и направленности развития лесных сообществ. Этот подход особенно актуален для лесов Приангарья в связи с их сильной нарушенностью пожарами и рубками и преобладанием в качестве современной растительности различных стадий ее восстановления.

Предложенная методика построения карты восстановительной динамики растительности включает следующие этапы (рис. 1):

1. Подготовка исходных данных (изображений ДЗ и ЦМР);
2. Расчет дополнительных признаков ЦМР (формирование ЦМР-композиата);
3. Неуправляемая классификация изображений ДЗ и ЦМР-композиата;
4. Анализ и идентификация первичных информационных классов;
5. Выборочная генерализация или детализация информационных классов;
6. Формирование растровых карт растительности и условий местопроизрастания;
7. Перевод полученных растровых карт в векторную форму, их геометрическое пересечение и генерализация;
8. Анализ комбинаций геометрически пересеченных классов и формирование классов карты восстановительной динамики растительности.

Этап подготовки исходных данных включает подбор и предварительный анализ качества спутниковых изображений (Landsat TM/ETM) на исследуемую территорию. На этом этапе формируются композитные RGB-изображения и подбираются оптимальные схемы контрастирования для визуального анализа спутниковых сцен. Для изображений Landsat TM/ETM+ можно использовать R-G-B – комбинацию из каналов 5-4-3, удобную для визуального анализа растительности. При необходимости на этом этапе формируются маски облачности и мозаика из соседних сцен с близкими датами съемки. Для Центральной Сибири даты изображений подбираются из периода максимальной вегетации: 15 июня – 20 августа.

Для выбранной территории формируется растровый слой абсолютных высот на основе уже существующих цифровых моделей (например, SRTM 90) или путем интерполяции по изолиниям высот, сети высотных отметок, полученных с топокарт.

При необходимости также выполняется геореференцирование (привязка) спутниковых изображений к топографической основе или к растровой базовой мозаике уже имеющихся ортотрансформированных изображений космосъемки (мозаика Landsat ETM+, <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/mosaic/>).

Расчет дополнительных признаков ЦМР включает в себя формирование растровых слоев величины уклона (S) и кривизны (C) [3] поверхности на базе слоя абсолютных высот (H). Для упрощения последующей обработки величины H , S и C приводятся к интервалу значений 0–255 и объединяются в трехслойное растровое изображение (ЦМР-композит). Отображение ЦМР-композита в цветовом пространстве RGB позволяет также наглядно представить и визуально проанализировать орографическую структуру территории.

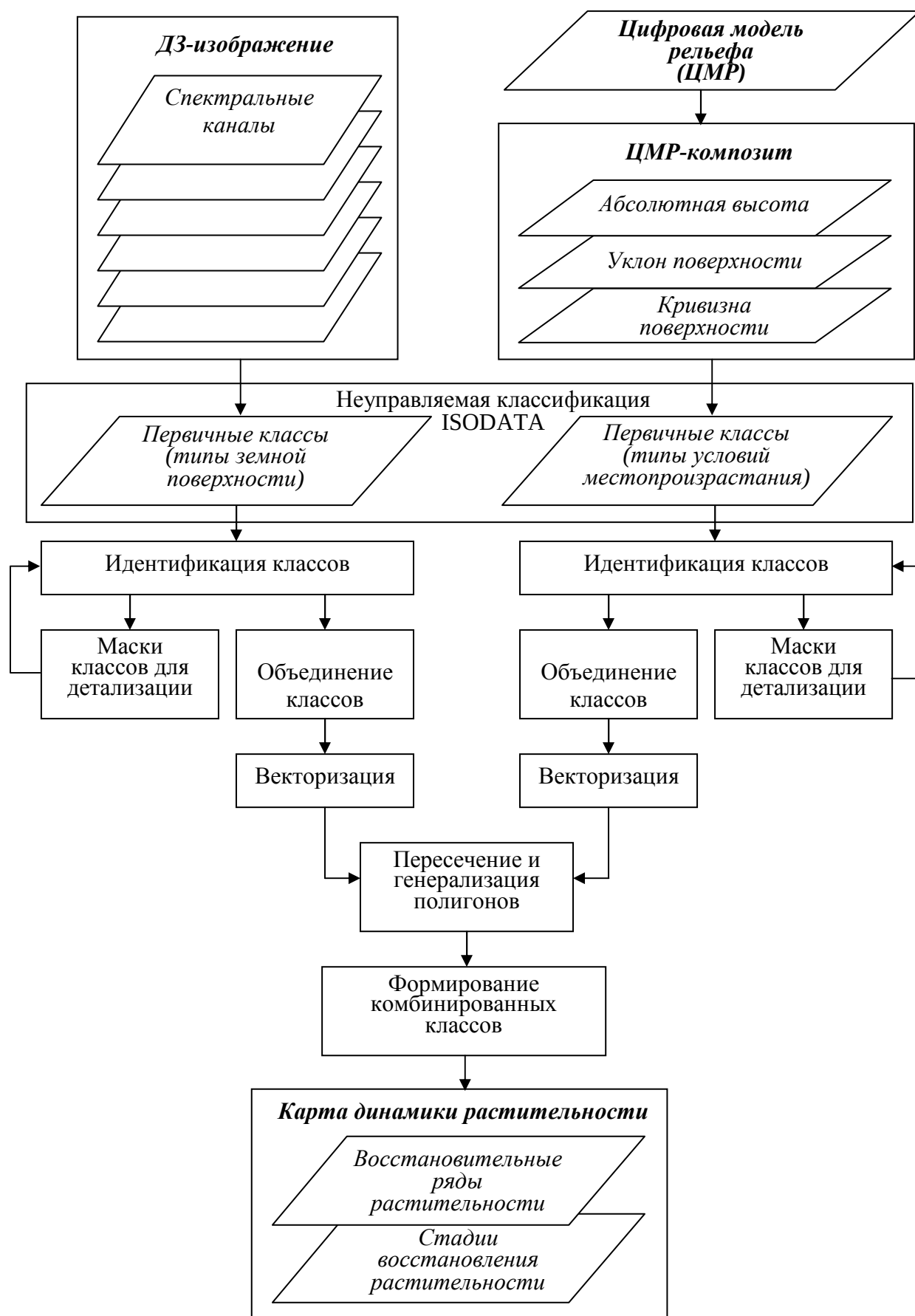


Рис. 1. Методика построения карты динамики растительности

Неуправляемая классификация (кластеризация) подготовленных изображений – мультиспектральной спутниковой съемки и ЦМР-композита – выполняется с использованием метода ISODATA [4] отдельно для каждого из двух наборов данных. Учитывая особенности этого метода, количество желаемых информационных классов задается заведомо большим, чем предполагается получить в итоге. В нашем случае при выделении элементарных классов расчленения земной поверхности на изображении Landsat ETM+ изначально задавалось 30 классов, а для классификации ЦМР-композита – 10 классов.

Метод управляемой классификации в данном случае не используется из-за трудоемкости получения адекватного выбора множества эталонных (обучающих) сигнатур.

Анализ и идентификация полученных после автоматизированной обработки первичных классов выполняются экспертным путем с использованием композитных изображений ДЗ и ЦМР, лесоинвентаризационных и полевых данных и прочих доступных тематических карт.

Избыточность исходного количества информационных классов, подразумевает объединение некоторых из них в новые классы. В то же время иногда возникают ситуации, когда внутри определенных классов необходимо выделить подклассы. В этом случае выполняется повторная кластеризация, но только для заданных участков изображения, определяемых классами, нуждающимися в детализации.

Процедуры классификации и идентификации выполняются отдельно для изображений ДЗ и ЦМР. В результате формируются растровые слои элементарных классов расчленения земной поверхности.

Элементарные классы расчленения земной поверхности, полученные по данным ДЗ, были идентифицированы как стадии восстановления растительности: спелые и перестойные хвойные насаждения; приспевающие хвойные насаждения; смешанные хвойно-лиственные насаждения; лиственные насаждения (молодняки); начальные стадии восстановления гарей и вырубок. Безлесные территории были выделены в отдельные классы. При анализе растрового слоя, полученного по данным ЦМР, были идентифицированы элементы ландшафтной структуры исследуемой территории: плакоры, склоны различной крутизны, долины и поймы рек.

Для реализации принципов генетического подхода необходимо выполнить геометрическое пересечение вышеперечисленных карт и сформировать новые комбинированные классы. Эту операцию технологически проще осуществлять с векторными картами. Поэтому растровые карты переводятся в полигональные векторные слои, для которых затем выполняется операция геометрического пересечения с объединением атрибутивных таблиц, содержащих имена идентифицированных информационных классов.

Полученный в результате пересечения векторный слой подвергается пространственной генерализации, с целью устранения малых по площади полигонов, путем слияния их с соседями по наибольшей общей границе.

Пороговое значение площади удаляемых полигонов выбирается с учетом возможности отображения минимально допустимых объектов для желаемого масштаба результирующей карты и пространственного разрешения исходных растровых изображений.

В результате формируется векторная полигональная карта с атрибутами, отражающими элементарные картографируемые единицы лесных и нелесных классов земной поверхности в сочетании с условиями местопроизрастания, определяемых морфометрическими параметрами рельефа местности. Полученные комбинации исходных признаков формируются в новые тематические группы - восстановительные ряды растительности.

Вышеописанная методика реализована на базе стандартных процедур пакетов ERDAS Imagine и ESRI ArcGIS.

По предложенной методике была сформирована карта восстановительной динамики растительности для тестового участка в районе Нижнего Приангарья. В качестве исходных данных ДЗ использовались два ортотрансформированных изображения Landsat 7 ETM+ (даты съемки 07.08.2002 и 12.08.2002, пиксельное разрешение 30 м), объединенные в мозаику и обрезанные по границе тестового участка, а также модель рельефа местности SRTM 90m (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, пиксельное разрешение 90 м). Все исходные растры были преобразованы в картографическую проекцию UTM для зоны 46 и совмещены с фрагментарными лесоустроительными планами и пробными площадями полевых обследований.

В результате для тестового участка были получены векторные полигональные слои, отражающие пространственное распределение восстановительных рядов и стадий восстановления лесной растительности в разных лесорастительных условиях.

Полученные карты актуального растительного покрова, как составная часть банка данных ГИС, позволяют оценить современное состояние и прогнозировать темпы восстановительной динамики лесной растительности в разных лесорастительных условиях. Такие карты фактически являются пространственными моделями, отражающими экосистемное разнообразие исследуемой территории, могут служить для решения как лесоводственных, так и широкого спектра экологических задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черкашин, В.П. Результаты развития ГИС «Леса Средней Сибири» [Текст] / В.П. Черкашин, М.А. Корец / Структурно-функциональная организация и динамика лесов. – Красноярск. – 2004. – С. 383–387.
2. Колесников, Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока [Текст] / Б.П. Колесников / М., Л. – 1956. – 262 с.
3. Moore, I.D. Digital Terrain Modelling: a Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications [Текст] / I.D. Moore, R.B. Grayson, and A.R. Landson / Hydrological Processes V. 5. – P. 3–30.

4. Tou, J.T. Pattern Recognition Principles [Текст] / J.T. Tou, R.C. Gonzalez. / Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company. – 1974.

© *М.А. Корец, В.А. Рыжкова, И.В. Данилова, 2008*

УДК 502/504:553.98

*М.Д. Козориз*¹, *В.А. Середович*², *И.П. Шмыговский*³

¹ ОАО «Независимая Ресурсная Компания», Москва

² СГГА, Новосибирск

³ ООО «Нефтеюганский научно-исследовательский и проектный институт»,
Нефтеюганск

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ, ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ НЕДР ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ

*Michael D. Kozoriz*¹, *Vladimir A. Seredovich*², *Ivan P. Shmugovsky*³

¹ General Mine Surveyor, JSC «Independent Resources Company», PhD,
Corresponding Member of International Academy of Ecology, Man and Nature
Protection Sciences

² Professor, Vice Rector for Innovation Activities, Siberian State Academy of
Geodesy

³ Director General, JSC «YUGANSKNIPI»

CONSTITUENT ELEMENTS OF ENVIRONMENTAL AND INDUSTRIAL SAFETY AND CONSERVATION OF MINERAL RESOURCES IN OIL PRODUCTION

A wide aspect of environmental problems and those of related to conservation of mineral resources taking place in intense field development for the purposes of commercial hydrocarbon material production is considered.

Man-made (technogenic) and natural impacts in oil production disrupt the balance of geological environment, cause mire formations, land subsidence, karst processes, landslips, cavities, and excited seismicity. The ground subsidence negatively influences on the technical state of pipelines, lead to the leakage of technological objects, and sometimes can cause technogenic earthquakes.

At each stage of field development are needed particular procedures and measures to decrease an ecological load on geological and natural environment. It is recommended to create the geodynamic sites, carry out the geological and environmental monitoring for territories to be developed. It is necessary to project, construct and exploit the oil-and-gas fields taking into account the improvement of environmental situation, minimization of easily vulnerable territorial-and-natural complexes damnification using advanced technologies and equipment.

Одним из главных компонентов в развитии энергетического комплекса России является углеводородное сырье.

Но в то же время развитие энергетики сталкивается с целым рядом экологических проблем, становящимися все более острыми, так как нефтегазодобывающая промышленность является одной из самых экологически

опасных отраслей хозяйствования. Она отличается большой землеемкостью, значительной загрязняющей способностью и высокой пожаро- и взрывоопасностью промышленных объектов. Большинство химических реагентов, применяемых при бурении скважин, при добыче и подготовке нефти, а также добываемые углеводороды и примеси к ним являются веществами, вредными для всего растительного и животного мира и человека.

Одной из крупнейших экологических проблем в ТЭК, особенно острой для традиционных нефтедобывающих регионов, является загрязнение природной среды нефтью и нефтепродуктами. Темпы утилизации отходов остаются низкими, прогнозы крупномасштабного использования отходов не реализуются.

Серьезной проблемой является концентрация негативного воздействия деятельности предприятий ТЭК в энергодобывающих и энергопроизводящих регионах. К этому следует добавить недостаточный уровень экологичности технологических процессов, высокий моральный и физический износ основного оборудования, недостаточную развитость природоохранной структуры (систем предотвращения и снижения негативных воздействий на природную среду).

Нефтегазодобыча опасна повышенной аварийностью в связи с тем, что основные производственные процессы происходят под высоким давлением, промысловое оборудование и трубопроводные системы работают в агрессивных средах.

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 десятилетия 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 ранее, 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 (Н.А. Касьянова, Ю.О. Кузьмин «Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса». М.: Изд. Геоинформмарк, 1996 г.).

Существование всех перечисленных неблагоприятных факторов вызывает необходимость выполнения постоянных детальных наблюдений (мониторинг) за состоянием окружающей природной среды и недр. Поэтому многими нефтяными предприятиями создаются геодинамические полигоны и проводятся режимные, циклические наблюдения за движением земной поверхности влияющих, в том числе и на состояние целостности трубопроводов.

Вредные вещества, попадая из источников загрязнения в одну из природных сред (воздушную, водную) вовлекаются в общую миграцию (круговорот) веществ и, как правило, в течение того или иного промежутка времени распространяются во всех природных средах. Скорость распространения загрязняющих веществ и скорость самоочищения среды во многом зависят от природно-климатических условий и количества загрязнителя.

С другой стороны, известно, что с незначительными концентрациями нефти природа справляется самостоятельно, а минимальное ее содержание иногда служит катализатором роста растений.

Поэтому в вопросах охраны окружающей среды существует два противоположных мнения. Одно мнение сводится к тому, что вмешательство в природную среду необходимо резко сократить, поскольку современные методы ведения хозяйства могут привести к катастрофическим последствиям. Другие считают, что потенциал самовосстановления природы достаточно велик и не следует затрачивать большие средства на ее охрану и проведение рекультивационных работ.

Применительно к нефтегазовому региону концепция подхода к проблемам охраны окружающей среды должна опираться на следующие факторы:

1. Для того чтобы выжить человек должен хозяйствовать на земле, должен добывать нефть, газ и другие полезные ископаемые.

2. На современном этапе развития науки и техники не существует таких технологий добычи, транспортировки и переработки нефти, которые позволяли бы осуществлять эту деятельность без отрицательного воздействия на природу.

3. Это оптимальное совмещение первого и второго факторов, т. е. добывать и осваивать месторождения, необходимо сводя к минимуму негативные последствия, максимально восстанавливая нарушенные территории. Важно не допускать аварийных, катастрофических разливов нефти, когда ее содержание в почве превысит 30 %, что приводит к необратимым процессам и может нарушить сложившийся природный баланс. В таких случаях восстановление природных комплексов может длиться десятки лет и требует значительных затрат труда и средств.

Для полной естественной переработки нефтяных компонентов в условиях Крайнего Севера требуются десятилетия. Физико-химическое разрушение нефти на поверхности почв происходит только в самом верхнем слое. После этапа микробиологического разрушения (3-4 года) сохраняется нефтяное загрязнение, при этом количество наиболее токсичных углеводородов в верхних слоях почвы в несколько раз превышают фоновые значения.

Эффективные методы детоксикации многих загрязнителей не разработаны, их накопление в природных объектах может привести к непредсказуемым последствиям. Нарушения во много раз легче предупредить, чем их исправить, поэтому приоритет должен всегда отдаваться профилактическим, предупредительным мерам.

Обустройство и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений сопровождается неизбежным техногенным воздействием на объекты природной среды. Рациональное природопользование в современных условиях обуславливает необходимость учета жестких экологических ограничений и разработку мероприятий, направленных на охрану и восстановление окружающей среды.

Наиболее экологически опасным видом работ является бурение скважин на нефть и газ, что сопровождается:

- Химическим загрязнением почв, грунтов, горизонтов подземных вод, поверхностных водоемов и водотоков, атмосферного воздуха веществами и химреагентами, используемыми при проходке скважин, буровыми и технологическими отходами, а также природными веществами, получаемыми в процессе испытания скважин;
- Физическим нарушением почвенно-растительного покрова, грунтов зоны аэрации, природных ландшафтов на буровых площадках;
- Нарушением естественного режима многолетнемерзлых грунтов в криолитозоне с возможной деградацией верхних горизонтов ММП;
- Изъятием водных ресурсов;
- Нарушением температурного режима экзогенных геологических процессов (термокарст, термоэрозия, пучение, наледообразование, заболачивание, просадки и др.) с их возможным негативным проявлением в техногенных условиях на буровых площадках.

Основные пути проникновения загрязнителей в объекты геологической среды следующие:

- Поглощение бурового раствора в процессе промывки скважин и фильтрации его водной фазы в проницаемые отложения;
- Нарушение обсадных колонн и цементного камня в заколонном пространстве;
- Некачественное цементирование и не подъем тампонажного раствора за обсадными колоннами;
- Попадание жидких отходов бурения в водоносные горизонты из-за плохого качества крепления кондуктора;
- Инфильтрация отходов с поверхности земли из амбаров-накопителей через почвогрунты и через устье скважины.

При строительстве площадных объектов (кустов скважин, площадок ДНС, КНС, ЦПС и др.) основным воздействием на окружающую среду является изъятие части территории месторождения из общего пользования и преобразование существующего рельефа в результате проведения вертикальной планировки, предусматривающей сплошную систему организации рельефа. В случае размещения объектов без учета функции экосистем и невыполнения природоохранных мероприятий может нарушиться компонентная структура ландшафтов: нарушается микрорельеф, поверхностный сток, возможно нарушение гидрологического режима и, в первую очередь, происходит деградация почвенно-растительного покрова.

В условиях повышенной увлажненности, при наличии большого количества гидроморфных ландшафтов, пересечение их внутрипромысловыми и магистральными трубопроводами и автодорогами, т. е. линейно-протяженными объектами, может существенно влиять на гидрологический режим и поверхностный сток территорий.

Поэтому одним из главных направлений по уменьшению воздействий на окружающую среду при строительстве таких объектов являются мероприятия по сокращению площади отводимых земель путем формирования всех линейных сооружений в единые технологические коридоры. Это позволяет сократить площадь отводимых земель более чем на 30 %.

В целях исключения заболачиваемости примыкающей к дороге местности на участках пересечения автодорог с временными плоскостными стоками проектируются водопропускные сооружения.

Проектирование переходов трубопроводов через реки требуют знания особенности русловых деформаций: скоростей размыва дна и берегов, перемещение песчаных гряд и других форм руслового рельефа. Учет русловых процессов позволяет своевременно устранять негативные последствия их воздействия на инженерные сооружения. В тоже время сами сооружения изменяют русловой рельеф и условия существования руслового потока, что приводит к возникновению новых свойств в его руслоформирующей

деятельности, которые также необходимо предвидеть, чтобы обеспечить сохранность реки как природного объекта.

Классифицируя виды воздействия на поверхностные воды, можно выделить основные из них:

- Изменение сложившегося гидрологического режима из-за пересечения гидроморфных систем и связанное с этим подтопление территорий и отторжение пойм;
- Загрязнение воды;
- Водопотребление.

При обустройстве и эксплуатации месторождений неизбежно образуются различные отходы, которые можно разделить на три группы:

- К первой относятся отходы, образующиеся при строительстве промысловых сооружений;
- Ко второй – при эксплуатации;
- К третьей – отходы, образующиеся при авариях на промысловых трубопроводах.

При строительстве промысловых сооружений в основном образуются следующие отходы:

- Остатки стройматериалов;
- Порубочные материалы;
- Сточные воды при промывке и гидравлических испытаниях оборудования;
- Шламовые амбары.
- При эксплуатации образуются следующие отходы:
- Продукты зачистки трубопроводов, оборудования и РВС;
- Загрязненная вода;
- Отработанные масла;
- Нефтедержающие шламы;
- Различная тара.

При возникновении аварий характер отходов изменится, образующиеся отходы становятся более токсичными; к ним относятся:

- Нефть;
- Газ.

Основным источником атмосферного загрязнения на месторождениях являются скважины, установки подготовки нефти и факела сжигания газа.

Наибольшее количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу приходится на долю факелов, особенно при аварийных ситуациях. Анализ результатов расчетов показал, что в среднем 75 % от общего количества валовых выбросов составляет оксид углерода. При неполном сгорании природного газа он переносится в верхние слои атмосферы, где окисляется до

углекислого газа, участвующего в создании «парникового эффекта» в глобальном масштабе.

Несгоревшие углеводороды образуют газовую фазу (от метана и этана до конденсированных углеводородов – всего до 16 %) и сажу – 9 %. Концентрированный выброс больших количеств вредных загрязняющих веществ от объектов нефтедобычи создает на месторождении зоны, где приземные концентрации превышают предельно допустимые нормы. Приведенные расчеты показали, что оксиды азота и углеводорода рассеиваются до предельно допустимых концентраций в пределах 1-2 км от источника загрязнения, а зона рассеивания оксидов углерода в приземном слое атмосферы может достигать 5–8 км.

Для стабилизации и улучшения экологической ситуации на территории месторождений необходимо проводить комплекс технологических и организационных мероприятий:

- Прекращение сжигания нефтяного газа и его 100 % утилизация;
- Переход на безамбарное бурение;
- Замена старого оборудования на новое, более надежное;
- Исключение аварийных разливов нефти, пластовых и подтоварных вод, других токсичных жидкостей;
- Своевременная рекультивация земель;
- Строительство полигонов промышленных и бытовых отходов.

В последние годы большинство предприятий, с целью борьбы с нефтяными загрязнениями, создают звенья или цеха по ликвидации последствий аварийных разливов нефти, оснащают их современными технологиями и оборудованием экологической направленности, как отечественного, так и зарубежного производства. К сожалению, оборудование российских производителей не отличается высокой производительностью, надежностью, и главное, широким ассортиментом выпускаемой продукции. Среди зарубежных компаний, поставляющих на российский рынок нефтесборное оборудования самого широкого ряда, производительности и назначения, можно отметить несколько фирм, самыми известными из них являются: английская «Вайкома», американская «Эластек», голландская «Десми», финская «Ламор». Среди перечисленных выгодно отличается ценой, качеством, реагированием на нештатные ситуации фирма «Ламор», открывшая не только свое представительство в Москве, но и создавшее совместное с ОАО «Роснефть-Юганскнефтегаз» экологическое предприятие «Ламор-Югра», (в настоящее время прорабатывается вопрос о создании совместного с ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз» предприятия «Ламор-Ямал»).

С целью минимизации вредного воздействия на окружающую среду, ее постоянного улучшения, по сравнению с экологическим наследием прошлых лет, нефтегазовые предприятия должны разрабатывать, принимать и неукоснительно соблюдать экологическую политику предприятия, создавать систему управления охраной окружающей среды на основе ИСО – 14001.

Несмотря на все предусмотренные мероприятия, направленные на предупреждение загрязнения природной среды, нарушение экосистем, к сожалению, всегда возможны. Уровень этих нарушений будет полностью зависеть от выполнения всего состава мероприятий, неуклонного соблюдения технических и технологических норм, а также от экологической культуры работников.

© М.Д. Козориз, В.А. Середович, И.П. Шмыговский, 2008

УДК 528.91: 614.8 (571.14)

Ю.С. Щербаков

СГГА, Новосибирск

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

Yu.S. Scherbakov

SSGA, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF METHODS FOR NATURAL AND TECHNOGENIC RISKS ANALYSIS AND ESTIMATION

Methodical apparatus for the analysis and estimation of risk is offered. It is based on the concepts used for investigating natural and technogenic emergency situations. Special approaches to risk analysis and estimation are considered.

Процессы формирования методического аппарата анализа и оценки природных и техногенных рисков относятся к малоисследованным и перспективным направлениям современной науки о рисках – рискологии. Учитывая, что риск представляет произведение вероятности нежелательного события на ущерб от него, важнейшими составляющими исследования рисков является анализ и оценка риска – количественное измерение риска, то есть определение возможных последствий реализации опасностей для населения и территорий. Количественной оценкой риска является отношение числа тех или иных неблагоприятных последствий к их возможному числу за определенный период. Наиболее общим показателем риска, применимым для любых N (численности населения, работающих), является

$$\text{Показатель риска} \left[\frac{\text{ущерб}}{\text{время}} \right] = \text{частота} \left[\frac{\text{события}}{\text{время}} \right] \times \text{средний..ущерб} \left[\frac{\text{ущерб}}{\text{события}} \right]. \quad (1)$$

Принято различать риск индивидуальный и общий (коллективный).

Индивидуальный риск – это ожидаемое значение ущерба отдельному человеку за интервал времени T и отнесённое к группе людей численностью M человек:

$$R_{\text{и}} = I / (T \times M), \quad (2)$$

где: T – период времени, лет;

I – ожидаемое значение ущерба;

M – численность групп людей, чел.

Общий риск – это риск для группы людей, коллективный риск:

$$R_{\text{общ}} = I / T. \quad (3)$$

Формирования методического аппарата анализа риска должно быть основано на концепциях, применяемых при исследованиях в области оценки

природных и техногенных чрезвычайных ситуациях. К основным концепциям следует отнести:

- Экономическая, которая основана на исследовании анализа риска, как части затратно-прибыльной функции для общества;
- Техническая – основывается на анализе относительной частоты возникновения ЧС как способа задания их вероятности при использовании имеющихся статистических данных и их усредненным значениям по масштабу, времени и группам населения;
- Социальная, которая основана на социальной интерпретации нежелательных последствий от ЧС для определенной группы населения;
- Психологическая – основывается на восприятии факторов риска исключительно личностью, а не объективными или научными обоснованиями или оценками.

Анализ риска, обусловленного наличием источника воздействия ЧС, состоит из этапа оценки риска и этапа управления риском (рис. 1).



Рис. 1. Схема анализа риска

Анализ риска, включающий оценку и прогнозирование – это исследования, направленные на выявления и количественные определения различных видов риска при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Прогнозирование риска представляет собой оценку на определенный момент времени в будущем, с учетом всех изменений условий проявления риска. Оценка риска – это количественное измерение риска, то есть определение возможных последствий реализации опасностей для населения и территорий. Выявление и количественная оценка риска может выполняться по следующей схеме (рис. 2).

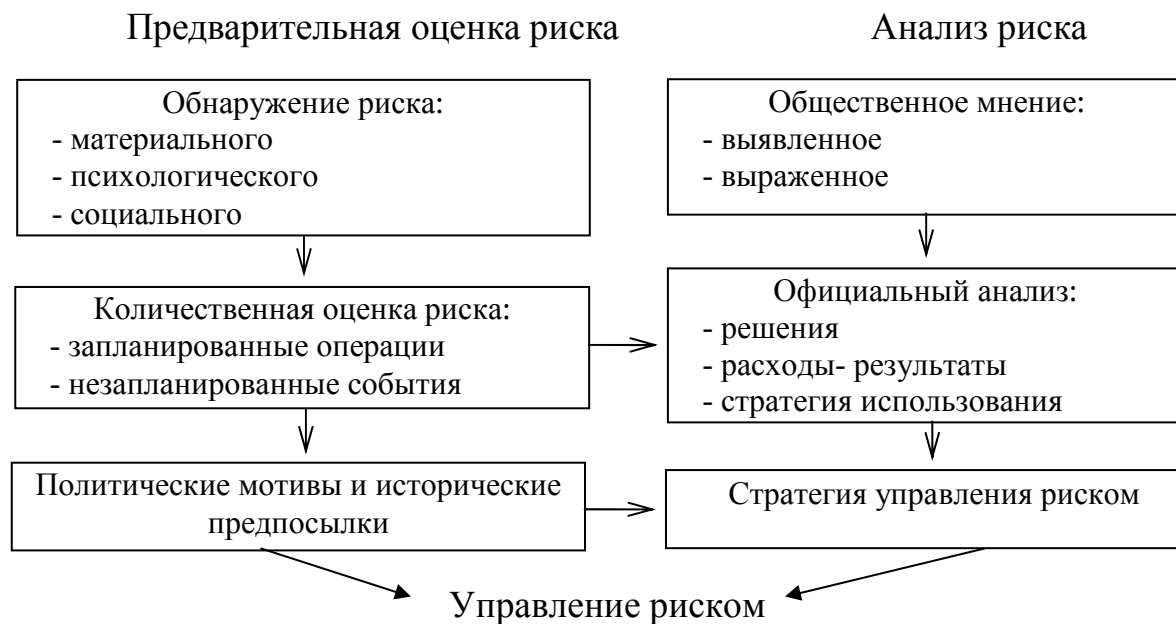


Рис. 2. Выявление и количественная оценка риска

Целью оценки риска является выработка решений, направленных на его снижение. При этом оцениваются затраты и выгоды от принимаемого решения.

Этап оценки сопровождается исследованиями, в результате которых устанавливают, какие последствия вызывают разные воздействия природных и техногенных ЧС при различных видах и условиях воздействия. На этапе управления риском анализируют разные альтернативы и выбирают наиболее подходящие.

При формировании современной теории и методического аппарата анализа и оценки риска чаще всего используют дифференциализацию областей анализа риска по следующим направлениям исследований:

- Измерение риска (восприятие его людьми, способы его количественного определения);
- Повышение безопасности крупномасштабных технологических систем, включая определение допустимого уровня риска (установление стандартов), выбор места расположения новых систем, анализ человеко-машинного взаимодействия, разработку более безопасных технологий, определение экономически оправданного уровня затрат на безопасность;

– Аварии и их анализ, в том числе причин возникновения, процесса развития и последствий аварий, организационно-управленческих проблем подготовки к возможным авариям и управления в чрезвычайной обстановке.

В рамках перечисленных направлений автором выделяется ряд подходов и методов, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные направления, подходы и методы анализа риска

Направление исследований	Подходы	Конкретные методы
Измерение риска	Инженерный Экспертный Социологический	Деревья отказов, деревья событий. Доза – эффект. Экспертные оценки. Социологические опросы, анкетирование
Анализ безопасности крупномасштабных технологических систем	Минимизация нового риска: – выбор места расположения новой системы – создание систем внутренне присущей безопасностью Минимизация существующего риска: – оптимизация человеко-машинного взаимодействия	Экономический анализ, линейное программирование (критерий оптимальности – минимум затрат), аксиоматический метод построения функции, многокритериальный анализ, «затраты – выгоды». Инженерные методы Эргономические методы, создание специальных экспертных систем
Анализ аварийной ситуации	Анализ реальных и потенциальных ситуаций	Статистический анализ, экономический анализ, сценарии, зонирование (составление карт)

Оценка риска должна характеризовать как вероятность наступления самого неблагоприятного события, например, аварии или выброса вредных загрязняющих веществ «нормально» действующим предприятием, так и вероятность негативных последствий этого события, например, заболевания или смерти человека. В настоящее время существенный прогресс в деле разработки и применения процедур оценки риска достигнут лишь в отношении последнего из названных элементов – определения опасности для здоровья человека, причем относительно более совершенна процедура расчетов по оценке риска онкологических заболеваний. Также необходимо отметить, что эти результаты не дают однозначной абсолютной величины ожидаемого числа заболеваний и смертей, а представляют собой более и менее корректную оценку вероятности указанных негативных последствий. Поэтому научная достоверность оценки риска на каждый момент времени относительна, и все процедуры ее нуждаются в систематической корректировке с учетом новейших достижений фундаментальной науки, прежде всего токсикологии,

микробиологии и других наук. Одним из первых шагов оценки риска является идентификация опасности – определение реальной опасности для человека и окружающей среды. Здесь большая роль следует отвести научному исследованию. При идентификации опасности необходимо также учитывать существующий фон неблагоприятных воздействий. Идентификация опасностей предполагает использовать приемы апробации, отбора методов моделирования распространения поражающих факторов ЧС в различных средах, мониторинга и диагностики технического состояния объекта (оценки симптомов, последствий воздействия).

При идентификации опасности основным является вопрос – что представляет собой опасность, при вычислении риска – какова его величина, т. е. необходимо определить вероятность возникновения данного опасного явления и вероятность неблагоприятных последствий.

При расчете риска нередко используются качественные суждения, сравнительные оценки, существуют методы их преобразования в количественные данные. Качественные суждения, методы экспертных оценок в силу своей субъективности имеют серьезные недостатки. При последующих проверках оказывалось, что такие данные часто отклоняются в сторону увеличения значимости недавних и часто повторяющихся событий, более впечатляющих эффектов (происходит искажение ожидаемой вероятности события). Все эти трудности относятся и к оценке риска редких событий.

Для формирования методического аппарата анализа и оценки природных и техногенных рисков чаще всего используют феноменологические, детерминистские и вероятностные методы, в зависимости от характера событий и величины потенциальных ущербов.

Методический аппарат, используемый в процессе анализа и оценки природных и техногенных рисков, может представлять целый комплекс методик и зависит от имеющейся исходной информации и требуемых характеристик оценки. Основными видами методик, используемых в исследованиях рисков, являются: статистические, теоретико-вероятностные и эвристические методики.

© Ю.С. Щербаков, 2008

СИНГЕНЕТИЧЕСКИЙ ЭТАП ЗАРАСТАНИЯ ОТВАЛОВ КУЗБАССА

N.A. Malakhova¹, N.P. Mironycheva-Tokareva²

¹ Novosibirsk state agrarian university

² Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

SYNGENETIC STAGE OF COAL MINE SPOIL REVEGETATION IN THE KUZBASS REGION

The initial stages of soil and plant cover development on the coal mining spoil, not subjected to reclamation and recultivation, were found to have low diversity of plant species. The exposition of the spoil was shown to influence soil algal communities as the ones of the northern slopes were dominated by the green algae, while the blue-green algae (cyanobacteria) dominated the communities of the southern slopes.

Ведущим механизмом трансформации техногенных отвалов являются биологические процессы, сопровождающие становление и развитие биоценозов. Основные их участники – первоначально поселяющиеся в субстратах отвалов организмы. Среди них особое внимание заслуживают водоросли. Эта группа растений благодаря способности к фотосинтезу играет значительную роль в накоплении органического вещества, являясь звеном продуцентов в круговороте, связывающего почвогрунты с литосферой и биосферой Земли. Они способны вступать во взаимодействие со всеми компонентами биогеоценозов и тем самым выполнять значимую роль в их функционировании.

Развитие водорослей на субстратах отвалов идёт по модели стимулирования, представляя сингенетический этап зарастания (Миркин и др., 2002). При этом поселяющиеся виды улучшают условия обитания для новых. На поверхность субстрата в процессе водно-ветровой эрозии заносятся различные водоросли, часть из которых погибает, другая остаётся в неактивном состоянии и только некоторые, способные вегетировать в данных условиях, начинают развиваться. Среди пионеров в освоении вновь образовавшихся поверхностей отвалов рассматривается группа синезелёных водорослей, представленная видами сем. *Chroococcaceae* (рода *Gloeotheca*, *Gloeocapsa*), сем. *Oscillatoriaceae* (рода *Phormidium*, *Microcoleus*, *Plectonema*) и пор. *Nostocales* (род *Nostoc*) (Штина и др., 1985). В некоторых случаях первоначальное заселение субстрата синезелёными водорослями

происходит лишь на отдельных участках, а пионерами освоения выступают мелкие диатомовые и зелёные водоросли, легко заносимые ветром (Shelhorn, 1936; Дорохова, 1989).

Задачей работы стало выявление особенностей организации альгогруппировок в сформированных грунтах отвалов на начальном этапе зарастания.

Материал и методика

Исследования проведены в 1996–2002 гг. на автомобильных неспланированных отвалах пород пермского возраста угольного разреза «Листвянский» лесостепной зоны Кузнецкой котловины. Пробы отбирали послойно (каждая из которых представляет усреднённый вариант из 10 образцов) и доводили до воздушно-сухого состояния. В лабораторных условиях для выявления видового состава водорослей использовали метод водных и чашечных культур со стёклами обрастания. Культуры выращивали стационарно в установке «Флора-1» при освещении лампами дневного света по 12–14 час в сутки и средней температуре 24–25° С. Почвогрунты увлажняли средой Кнопа. Просмотр культур начинали с момента появления признаков роста водорослей и заканчивали после 3–4-х месяцев. Микроскопирование проводили на световом микроскопе «БИМАМ-Р-13-1», объектив $\times 20$, $\times 40$ и $\times 90$, окуляр $\times 15$, окулярный микрометр $\times 10$.

При определении водорослей использовали ряд определителей: «Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезелёные водоросли» (Голлербах и др., 1953); «Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли» (Забелина и др., 1951); «Почвенные и аэрофильные зелёные водоросли (*Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales*)» (Андреева, 1998); «Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 10 (1). Зелёные водоросли, класс Улотриксые (1), порядок Улотриксые» (Мошкова и др., 1986); «Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Вып. 10. Жовтозелені водорості» (Дедусенко-Щеголёва и др., 1962).

Фитоценотический анализ альгогруппировок основывался на выявлении комплекса доминантных видов. Доминантные виды выделяли на основе определения балла обилия по 15-балльной шкале (Кабилов, Шилова, 1990).

Результаты и обсуждение

Изучение водорослей проводили на отвале (шести-восемь лет отсыпки) с доминантными видами растений *Artemisia vulgaris*, *Melilotus officinalis* и *Salsola collina*. Выявлено незначительное число видов (максимально до семи видов), что объясняется начальным сингенетическим периодом зарастания отвала высшими растениями.

Гранулометрический состав грунтов отвалов, по данным химической лаборатории института Запсибгипроводхоз, характеризуется довольно большим процентом крупнообломочной фракции (около 40 %). В соответствии с инженерно-геологической характеристикой (ГОСТ 25100-82), представленной сотрудниками лаборатории рекультивации земель ИПиА СО РАН (Арбузова и др., 1988), все породы рассматриваются как скальные:

осадочные, сцементированные обломочно-пылеватые или обломочно-глинистые. Таким образом, по физическим свойствам они относятся к малопригодным для биологической рекультивации землям (ГОСТ 17.5.1.03.-86). Показатель pH вод. изменяется в интервале от 6,0 до 8,4, указывая на характер среды от слабокислой до щелочной, что наиболее благоприятно для большинства видов растений.

Исследованный отвал представляет основу для изучения распределения водорослей в зависимости от пластики рельефа и экспозиции склонов. Исходя из этого заложены участки на северной экспозиции: от выровненного плакорного – (элювиального) через склоновый (трансэлювиальный) к аккумулятивному участку. Для сравнения на южной экспозиции отвала взят трансэлювиальный участок. Всего на отвале ранней отсыпки обнаружено 8 видов водорослей, из которых синезелёных – 3, зелёных – 4, жёлтозелёных – нет и 1 вид диатомовых водорослей.

Элювиальный участок заложен на возвышенном месте, представляющим выровненную поверхность отвала. Наибольшая экземплярная насыщенность отмечается для видов: *Artemisia vulgaris*, *Melilotus officinalis* и *Salsola collina*. Общее проективное покрытие 25 %, что определяет невысокий эффект затенения. Наряду с этим разброс температур с +12 °C в поверхностном слое до +6–8 °C – на глубине 0–5 см и относительно низкий показатель влажности (22–25 %) грунтов отвала создаёт экстремальные условия среды. На отвале преобладающими по числу видов являются зелёные и синезелёные водоросли (Пивоварова, Шумлянская, 2001). Видовой состав крайне беден: всего 7 видов водорослей. В составе доминантного комплекса отмечены такие виды как *Chlorhormidium flaccidum* var. *flaccidum*, *Hantzschia amphioxys* var. *amphioxys* и *Gloeocapsa minor* var. *dispersa* (балл обилия равен 12–15), которые были отмечены М.Г. Шушуевой (1977) как постоянные виды грунтов отвала «Листвянского» разреза Кузнецкой котловины.

На трансэлювиальном участке северного склона отвала хорошо развита овражная сеть, образованная под действием воды в результате таяния снега весной. Здесь особенно изобилуют проростки *Hippophaë rhamnoides* и *Betula pendula* занесённых с территории соседних отвалов. Помимо этого отмечены *Salsola collina*, *Melilotus officinalis*, *Artemisia sieversiana*, *A. vulgaris* и *Sonchus arvensis*. Общее проективное покрытие составляет 15%. Показатели температур грунтов отвала варьируют от +8–10 °C в поверхностном слое до +6 °C – на глубине 0–5 см.

На участке обнаружено 7 видов водорослей: по 3 вида зелёных и синезелёных и 1 вид диатомовых водорослей. В состав доминантов входят только виды зелёных водорослей: *Chlorhormidium flaccidum* var. *flaccidum* и *Choricystis chodatii* (обилие 13–15 баллов). Таким образом, на трансэлювиальном участке северного склона отвала даже при малом числе видов зелёные водоросли являются функционально значимой группой (Пивоварова, Шумлянская, 2001).

Трансэлювиальный участок южной экспозиции отвала является наиболее крутым на отвале. На участке обнаружено 7 видов водорослей: по 3 вида синезелёных и зелёных и 1 вид диатомовых водорослей. В доминантном

комплексе идентифицирован вид *Gloeocapsa minor* var. *dispersa* (с максимальным баллом обилия).

Аккумулятивный участок отвала занимает шлейфовую часть северной экспозиции пологого склона отвала. На участке отвала сходящиеся овраги образуют несколько небольших по размеру ложбин. В связи с этим в периоды выпадения обильных осадков происходит подмыв близлежащих пород грунта отвала. Породы активно разрушаются до мелкозёма, содержащего большое количество угольной пыли и крошки. На участке получили широкое распространение *Salsola collina*, *Tussilago farfara.*, *Taraxacum officinale*, *Sonchus arvensis* и *Erigeron canadensis*. Проективное покрытие 25–30 %. Поверхностный слой грунтов отвала достаточно хорошо прогревается ($t = 12–15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Зафиксированы максимальные на всём профиле катены северной экспозиции показатели влажности ($\phi = 33–37\%$). В грунтах зарегистрировано такое же число видов водорослей, что и на трансэлювиальном участке. Доминантными видами являются зелёные водоросли *Bracteacoccus minor* и *Chlorhormidium flaccidum* var. *flaccidum* (обилие 12–15 баллов).

В целом, при естественном зарастании отвала, подверженного горно-технической рекультивации, видовой состав водорослей невелик (8 видов). Сезонная динамика видов водорослей достаточно хорошо выражена с пиком в летний период года. Экспозиция склона отвала влияет на перераспределение ведущих отделов водорослей. Если на северном склоне основу доминантного комплекса составляют более мезофильные нитчатые зелёные водоросли, то на южном преобладают синезелёные водоросли ксероморфной природы. Таким образом, начальные этапы сукцессионных перестроек альгогруппировок связаны с первыми годами освоения субстрата на пермском отвале.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева, В.М. Почвенные и аэрофильные водоросли. *Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales*. – Спб: Наука, 1998. – 351 с.
2. Арбузова С.В., Бычкова Л.В., Моторина Л.В. Свойства вскрышных и вмещающих горных пород по показателям пригодности для биологической рекультивации: справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Курачёва. – Мытищи: ИПиА, 1988. – 436 с.
3. Голлербах, М.М., Косинская, Е.К., Полянский, В.И. Синезелёные водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. – М.: Советская наука, 1953. – Вып. 2. – 652 с.
4. Дедусенко-Щеголёва, Н.Т., Голлербах, М.М. Жёлтозелёные. *Xanthophyta*. Определитель пресноводных водорослей СССР. – М.: АН СССР, 1962. – Вып. 5. – 271 с.
5. Дорохова, М.Ф. Формирование и значение группировок почвенных водорослей в условиях промышленного загрязнения (на примере угледобычи): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 1989. – 24 с.

6. Забелина, М.М., Киселёв, И.А., Прошкина-Лавренко, А.И. Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. – М.: Наука, 1951. – Вып. 4. – 620 с.
7. Кабиров, Р.Р., Шилова, И.И. Почвенные водоросли свалок и полигонов твёрдых бытовых отходов и промышленных отходов в условиях крупного промышленного города // Экология. – 1990. – № 5. – С. 10–18.
8. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. – М.: Логос, 2002. – 254 с.
9. Мошкова, Н.А., Голлербах, М.М. Зелёные водоросли. Класс улотриковые (I). Порядок улотриковые. *Chlorophyta: Ulotrichophyceae, Ulotrichales*. Определитель пресноводных водорослей СССР. – Л.: Наука, 1986. – Вып. 10. – 366 с.
10. Пивоварова, Ж.Ф., Шумлянская, Н.А. Сингенез водорослей при естественном зарастании вскрышных породных отвалов Кузбасса, апрель, 2001 г. // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: Материалы III Российской конф. – Красноярск: КГПУ, 2001. – С. 43–45.
11. Штина, Э.А., Голлербах, М.М. Экология почвенных водорослей. – М.: Наука, 1976. – 142 с.
12. Штина Э.А. Почвенные водоросли как пионеры зарастания техногенных субстратов и индикаторы состояния нарушенных земель. – Журнал общей биологии. – 1985. – Т. 48. – № 4. – С. 434–443.
13. Шушуева, М.Г. Водоросли на отвалах угольных разработок в Кузбассе и их роль в почвообразовании, Киров, май, 1977 г. // Развитие и значение водорослей в почвах Нечерноземной зоны: материалы межвуз. конф. – Киров: Кировск. с.-х. ин-т, 1977. – С. 52–54.
14. Щербатенко, В.И., Кандрашин, Е.Р. Естественная растительность отвально-карьерных ландшафтов Сибири // Восстановление таёжно-техногенных ландшафтов Сибири (теория и технология). – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 65–80.
15. Schelhorn M. Zur Ökologie und Biologie der Erdalgen // Natuwiss. Und Landwirtsch. – 1936. – 18. – S. 1–54.

УДК 528.7:574

Л.К. Трубина, О.А. Беленко, Е.И. Дюхина
СГГА, Новосибирск

НОВЫЙ ПОДХОД К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ОБЪЕКТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО МИРА В БАЗАХ ДАННЫХ

L.K. Trubina, O.A. Belenko, Ye.I. Dyukhina
SSGA, Novosibirsk

NEW APPROACH TO REPRESENTATION OF PLANT AND ANIMAL KINGDOM OBJECTS IN DATA BASE

To present a great amount of facts on biological variety, virtual herbariums, electronic atlases, libraries and databases are used. The new approach to representation of the plant- and animal kingdom objects is based on supplying electronic documents with stereoscopic models (stereopairs), collection species and biological objects natural filming. It provides 3D-vizualization of biological objects and thus makes them vivid and real, that can't be achieved by any other way. This approach realization is considered by the authors.

В целях изучения и систематизации объектов животного и растительного мира биологи в своей научной деятельности собирают огромный фактический материал, характеризующий различные аспекты биоразнообразия. В настоящее время эта оригинальная информация хранится в виде гербариев, коллекций насекомых и других архивов. Расширить круг пользователей созданными коллекционными фондами в научных и образовательных целях, обеспечить сохранность уникальных образцов для будущих поколений – задачи важные и решаемые в настоящее время.

Современные компьютерные технологии способствуют развитию новых форм представления и хранения биологических данных в виде виртуальных гербариев, электронных атласов, баз данных, электронных библиотек, в том числе с применением Интернет-технологии.

Новый подход к представлению объектов растительного и животного мира заключается в дополнении электронных документов стереоскопическими моделями, формируемыми по стереопарам снимков коллекционных экземпляров и натурных съемок биообъектов. Это обеспечивает 3D-визуализацию биообъектов, следовательно, наглядность и реалистичность недостижимую другими способами.

Реализация такого подхода основана на применении цифровых съемочных систем и цифровых методов обработки изображений. Современные цифровые фотоаппараты обеспечивают оперативное получение цифровых изображений в широком диапазоне масштабов. Благодаря их конструктивным особенностям, а также за счет оснащения сменными объективами с переменным

фокусным расстоянием, реализована возможность съемки как в макро-, так и в телережиме, не прибегая к использованию дополнительных приспособлений. Широкий набор функций по выбору режимов съемки обеспечивает высокое фотографическое качество изображений, для хранения которых употребляются флэш-карты памяти большой вместимости и с высокой скоростью записи, что обеспечивает получение большого числа кадров за короткое время и облегчает организацию съемки в полевых условиях.

3D-визуализация биообъектов может быть осуществлена разными способами с помощью специальных аппаратных средств, в частности стереочков разной конструкции. С экономической точки зрения наименее затратным и доступным для широкого круга пользователей является анаглифический способ, при котором рассматриваются два совмещенных изображения (стереопара), окрашенные в дополнительные цвета (красный и синий) при помощи очков-светофильтров, имеющих такую же окраску. С точки зрения достижения качественного стереоэффекта этот метод имеет некоторые ограничения, связанные с погрешностями в цветопередаче. Более качественное стереоскопическое восприятие обеспечивает электронный способ на основе применения очков на жидких кристаллах. Ниже на рис. 1 приведена стереопара фотоснимков, рассматривать которую можно без специальных приспособлений или используя стереонасадку.



Рис. 1. Стереопара изображений для получения искусственного стереоэффекта

Таким образом, практическая реализация возможностей создания цифровых стереомоделей и их 3D-визуализации на экране может найти приложение в изучении разнообразных биологических объектов, что обеспечит их представление, очень близкое к реальному, существующему в природе. Следует отметить, что при формировании стереомоделей нет ограничений, связанных с пространственными размерами биообъекта. Например, можно стереоскопически наблюдать ландшафт, съемки которого выполнены с самолета, изучать в деталях устройство лапок насекомых или цветка по изображениям, полученным в режиме «макро», а также внутреннее строение листа или клетки по снимкам, получаемых с помощью микроскопа.

Предлагается новый подход к представлению гербарных образцов в электронном виде, которые остаются основой для проведения исследований по

изучению биоразнообразия на видовом уровне. В частности, при оценке состояния природных экосистем, изменение видов устанавливается при сравнении сборов растений с типовыми образцами, следовательно, важно обеспечить их доступность исследователям. Для достижения цели предлагается формировать коллекции образцов растений в виде структуры, включающей набор цифровых изображений разного масштаба, например, растение целиком – гербарный лист – фотографируется в максимально крупном масштабе, далее каждый орган растения (стебель, лист, корень и т. д.) фотографируется отдельно с более близкого расстояния. Кроме того, к ним можно добавить изображения семени, пыльцы, полученные с помощью микросъемки. Такой подход позволит в максимальной степени отразить особенности каждого гербарного образца за счет отображения отдельных органов растений с большим увеличением, чем в целом гербарный лист. Уникальная информация, содержащаяся на гербарном листе, будет передана со всеми возможными деталями, при этом специальная компоновка снимков для дальнейшего рассматривания обеспечит подобие работы непосредственно с оригиналом гербарного листа, когда исследователь рассматривает его через лупу.

Изложенные подходы по 3D-визуализации биообъектов предлагается применять для подготовки тематических CD-дисков и по разным разделам биологии и экологии для иллюстраций соответствующих курсов. Во время проведения учебных занятий при индивидуальной работе стереомодели можно демонстрировать на экране монитора, кроме того, они могут проецироваться на выносной экран с помощью мультимедийного проектора для одновременного рассматривания группой лиц из зала через анаглифические очки.

Компьютерная поддержка учебных курсов биологии в виде CD-дисков с включением стереоскопических моделей по разным разделам биологии и экологии способна дополнительно обеспечить наглядную демонстрацию биологического разнообразия живой природы на качественно новом уровне, а также доступность информации о биологическом разнообразии, накопленной в специализированных музеях и различных научных учреждениях.

Предложенный подход к формированию тематических дисков с включением стереомodelей уже применен при подготовке первого из планируемой серии диска «Приспособления насекомых и растений к различным жизненным средам».

Второе направление приложений 3D-визуализации – это формирование специализированных баз данных.

Таким образом, на компьютере можно визуализировать объемные изображения разнообразных биологических объектов, что обеспечит их представление очень близкое к реальному, существующему в природе.

Представление объектов в виде 3D-моделей может быть использовано для создания специализированных баз данных и образовательных мультимедиа продуктов, представленных на CD-дисках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биоразнообразие и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование / отв. ред. Шумный В.К. и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 648 с. – (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 7).
2. Трубина, Л.К. Стереомодели в изучении биологических объектов [Текст]: монография / Л.К. Трубина. – Новосибирск: СГГА, 2006. – 136 с.
3. Трубина, Л.К. Стереоскопические модели природных объектов разного масштаба в качестве иллюстративного материала для изучения биологии / Л.К. Трубина // материала междунар. конф. «Теорет. и приклад. исследования в ботанике». – Белгород: Белгород. гос. ун-т, 2005. – С. 280–282.

© Л.К. Трубина, О.А. Беленко, Е.И. Дюхина, 2008

УДК 581.5

*Н.П. Косых*¹, *Н.П. Миронычева-Токарева*²

¹ ИПА СО РАН, Новосибирск

² СГГА, Новосибирск

СРЕДНЕМАСШТАБНОЕ ЛАНДШАФТНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПРИРОДНОГО ПАРКА «СИБИРСКИЕ УВАЛЫ»

*N.P. Kosykh*¹, *N.P. Mironycheva-Tokareva*²

¹ Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS, Novosibirsk

² Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

MIDDLE SCALE LANDSCAPE MAPPING OF THE SIBIRSKIYE UVALY NATIONAL PARK

The authors represent the electronic map of the microlandscapes of the western part of the natural park «Siberian Uvaly». Wetlands cover 68 % of the territory, with mesotrophic ones contributing very little into the total area covered by wetlands. Eutrophic wetlands are practically absent in this area. Ridges and hummock complexes occupy mostly the periphery of the bogs. The central parts of the bogs are dominated by various combinations of ridges, palsas, hummocks and lakes, overall accounting for 45 % of the key study site area.

Благоприятные условия для широкого развития болотообразовательного процесса, характерного для таежной зоны, сложились на границе распространения вечной мерзлоты в районе природного парка «Сибирские Увалы» (далее – ПП). Преобладающие плавные мягкие формы рельефа и климатические условия позволяют болотам не только существовать, но и активно развиваться как на водоразделах, так и в долинах больших и малых рек. Болота поддерживают гидрологические, биогеохимические и биологические связи с окружающими экосистемами, с которыми постоянно обмениваются веществом, энергией и информацией. На территории ПП проводятся исследования болот в районе больших болотных массивов и, прилегающих к этой территории, лесов. Актуальность изучения роли болотных экосистем ПП связана, прежде всего, с уникальностью этих экосистем, которые распространены только на границе распространения мерзлоты. Основная цель работы – выявить и описать наиболее распространенные микроландшафты и составить электронную карту ключевого участка природного парка «Сибирские Увалы».

Объекты и методы. Исследования проводились на территории западной части ПП «Сибирские Увалы», расположенной в бассейне р. Сей-Кор-Еган. Более 70 % территории парка занимают леса. Прежде всего, это смешанные леса с кедром, пихтой и сосной кустарничково-зеленомошные, а так же сосняки

- беломошники, кустарничково-сфагновые. В долине реки Сей-Кор-Еган располагается несколько болотных массивов различного генезиса. Для выделения наиболее распространенных микроландшафтов были использованы методы биогеоценологических исследований, полевых геоботанических описаний, выполненных в маршрутах на пробных площадях по профилю, который имеет длину 1 565 м. Нулевой пикет расположен на берегу речки Сей-Кор-Еган. Профиль пересекает смешанный лес, заторфованную древнюю долину стока, пойму реки Сей-Кор-Еган, рям и заканчивается в бугристо-грядово-мочажинном с редкими озерами комплексе болотного массива. На профиле представлены достаточно типичные природные сообщества севера.

После обработки 80 геоботанических описаний были выявлены 20 основных типа микроландшафта. Все растительные сообщества по видовому составу четко разбиваются на две большие группы: а) автоморфные леса, расположенные в умеренно и слабоувлажненных местообитаний (смешанные леса с кедром кустарничково-зеленомошные, сосняки беломошники, сосняки зеленомошники и березняки) и б) сообщества сильно увлажненных местообитаний.

Леса занимают повышенные, наиболее дренированные участки водоразделов. На ключевом сильно заболоченном участке леса занимают 32 %. Древостой состоит из пихты (*Abies sibirica*), ели (*Picea obovata*), сосны (*Pinus sylvestris*), березы (*Betula pubescens*), кедра (*Pinus sibirica*) и лиственницы (*Larix sibirica*) в различных сочетаниях. Средний возраст деревьев около 90 лет, высота 16–20 м. Полнота древостоя варьирует от 0,3 до 0,6. В подлеске встречается шиповник (*Rosa acicularis*), красная смородина (*Ribes hispidulum*), рябина (*Sorbus sibirica*).

Травян-кустарничковый ярус представлен осокой (*Carex globularis*) и кустарничками *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Ledum palustre*. Моховой покров образован зелеными мхами *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*). Наблюдаются виды, свойственные как светлохвойной, так и темнохвойной тайге.

Беломошные леса остаются только по хорошо дренированным прирусловым участкам и возвышенностям с большим углом склонов.

При наступлении болота на лес в сосняке беломошном происходят изменения в мохово-лишайниковом ярусе: угнетается лишайниковый покров, представленный в основном *Cladonia rangiferina* и *C. stellaris*. Эти лишайники приспособлены переносить длительные периоды недостатка влаги и являются эдификаторами в плакорных сосняках. Невыраженный в беломошных сосняках травянистый покров в заболоченном лесу достигает 10 %. При повышении уровня грунтовых вод тут поселяются *Equisetum sylvaticum*, *Rosa acicularis*, характерные для зеленомошных лесов ПП. Появляются кочки с пушицей *Eriophorum vaginatum* и осока, с высокой степенью постоянства встречающихся в заболоченных сосняках, – *Carex globularis*. Наряду с лесными растениями в травостое появляются виды, характерные для верхового болота: *Oxycoccus microcarpus*, *O. palustris*, *Drosera rotundifolia*, *Rubus chamaemorus*. Кустарничковый ярус плакорного сосняка при заболачивании модифицируется

следующим образом: до заболачивания здесь присутствуют *Ledum palustre*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*. Начальные стадии заболачивания приводят к увеличению обилия этих видов. Помимо этого, появляются кассандра (*Chamaedaphne calyculata*), березка карликовая (*Betula nana*) и подбел (*Andromeda polifolia*). В переходной между лесом и болотом зоне проективное покрытие кассандры может достигать 50 %. В целом угнетается весь древостой. Сразу выпадает пихта. Сосны, высотой более пятнадцати метров теряют большую часть ветвей и хвои, но не погибают. В ходе дальнейшего заболачивания эти высокие сосны все усыхают, а подрост сосны приобретает типичную для болот форму (*Pinus sylvestris* L. f. *litwinowii* Sukacz.). Довольно часто в заболоченном лесу можно встретить березу (*Betula pubescens*) и ель.

Болота. В парке имеется несколько крупных болотных массивов. Особенно типичны верховые осоково-сфагновые болотно-озерные комплексы. На крупных болотных массивах широко распространены олиготрофные бугристо-грядово-мочажинные комплексы, обычно занимающие средние части массивов. На болотном массиве в центральной части развито множество крупных озер, поэтому эти комплексы можно назвать бугристо-грядово-мочажинно-озерными. На небольших верховых торфяниках и по периферии крупных болотных массивов расположены сосново-кустарничково-сфагновые, кустарничково-сфагновые сообщества на повышенных элементах рельефа в грядово-мочажинных комплексах и рямах.

На грядах и буграх олиготрофных комплексов выражен ярус из редкой угнетенной сосны или кедра, высотой 4–6 м, зарослей кустарничков – карликовой березы (*Betula nana*), багульника (*Ledum palustre*), кассандры, а из травянистых растений – пушицы (*Eriophorum vaginatum*) и морошки (*Rubus chamaemorus*). Довольно много клюквы (*Oxycoccus palustris*, *O. microcarpus*). В моховом ярусе господствует *Sphagnum fuscum*, занимающий возвышенные части гряд. У оснований сфагновых гряд и в понижениях между ними растет *Cladonia stellaris*, *Cladonia stygia* (Ach.) Ahti, *C. rangiferina*. На высоких буграх они могут занимать выположенные верхние части. Из зеленых мхов часто можно встретить *Pleurozium schreberi*.

В комплексе с грядами и буграми расположены мочажины, которые заняты сфагновыми, осоково-сфагновыми и сфагново-пушицевыми сообществами. Наблюдаются как сильно обводненные мочажины с доминированием *Sphagnum majus*, *S. lindbergii*, *S. balticum*, переходящие в озера, так и мочажины с преобладанием *S. angustifolium*, *S. fallax*, часто образующие сплавины возле озер и проточные мезотрофные топи.

В результате анализа описаний ландшафтного профиля и полевых наблюдений была составлена электронная карта района исследований. Для большинства микроландшафтов были выявлены дешифровочные признаки (форма, размер, рисунок, положение в рельефе, цветовая гамма на космических и аэрофотоснимках). Данная карта отражает закономерности распределения микроландшафтов в границах ключевого участка.

Разработанная Е.Д. Лапшиной и С.В. Васильевым классификация легла в основу выделения болотных типов микроландшафтов. Типы

микрорельефа определяются по соотношению таких элементов микрорельефа, как гряды, бугры, мочажины, озерки.

Гряды представляют собой превышения относительно среднего уровня болота, высотой 0,5–1,0 м, которые покрыты сосново-кустарничково-сфагновыми или кустарничково-сфагновыми сообществами. Древесный ярус редкий, образован сосной, высота которой не более 5 м. Возраст сосны не превышает 180 лет, средний возраст порядка 90-100 лет. Кустарничковый ярус представлен в основном *Ledum palustre*, *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium vitis-idaea*. Моховой ярус почти сплошь образован *Sphagnum fuscum*. В моховом покрове незначительная примесь *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium* или *S. balticum*.

Высота *бугров* варьирует от 1 до 3 м. На буграх близость мерзлоты определяет доминирование лишайников. Кустарничковый ярус составляют *Ledum decumbens*, *Betula nana*. Редкий древесный ярус чаще всего представлен кедром. Причем наряду со старыми кедром с диаметром до 50 см, встречаются молодые кедром, с диаметром ствола 10-20 см. О возрасте мерзлых бугров можно судить по произрастающим на них кедром. Довольно крупные для болота кедром диаметром до 50 см указывают на то, что мерзлые бугры довольно устойчивые образования.

Мочажины – это микрорельефные понижения относительно среднего уровня болот, с грунтовыми водами на поверхности или чуть ниже. Мочажины заняты осоково-сфагновыми сообществами. Среди таких осок, как *Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*, *C. pauciflora*, *C. limosa*, встречаются *Eriophorum vaginatum*, *E. russeolum*, *E. polystachion*. В моховом ярусе – сплошной покров образуют *Sphagnum angustifolium* и *S. riparium*, которые создают светло-желтый или светло-зеленый аспект и на аэрофотоснимках отображаются светлым тоном.

Мелкие *озера* – не глубокие, имеют торфяное дно, являются вторичными, т. е. образованы в процессе развития болот за счет разрушения торфяной залежи. Озера имеют самую разнообразную неправильную форму, их контуры, как правило, изрезаны. Только очень большие озера имеют округлую форму.

В пределах болотного массива встречаются минеральные острова, сложенные опесчаненным суглинком или супесью. На этих островах развиты зональные темнохвойно-кедровые зеленомошные, смешанные кустарничково-зеленомошные леса. Широкое развитие супесчаных и песчаных отложений на террасах и высоких дренированных водораздельных пространствах равнин сформировали экологические условия для произрастания сосновых лишайниковых и бруснично-лишайниковых лесов. Кустарничковый ярус беден по видовому составу, его покрытие составляет не более 30 %.

Грядово-крупномочажинный комплекс с несвязной сетью гряд, мелкогрядово-мочажинный, грядово-мелкомочажинный, сосново-кустарничково-сфагновый глубокозалежный и мелкозалежный комплексы, а также сильнообводненные мочажины располагаются по краям болота, в центральной же части болота господствуют разновидности бугристо-грядово-мочажинно-озерковых комплексов. Были определены площади различных комплексов на

данном участке. Наиболее распространенные типы микроландшафтов: бугристо-грядово-мочажинные комплексы с редкими озерами, бугристо-грядово-мочажинно-озерковые комплексы, а также бугристо-грядово-мочажинно-озерковые комплексы с крупными озерами.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволили выявить высокий уровень ландшафтного разнообразия на территории ключевого участка, ведущую роль в формировании которого играют болотные ландшафты, занимающие 68 % общей площади ключевого участка. В западной части ПП в пределах ключевого участка выделены следующие типы микроландшафтов: олиготрофные сосново-кустарничково-сфагновые сообщества рямов (12 %); олиготрофные комплексные грядово-мочажинные сообщества (16 %); олиготрофные и мезоолиготрофные комплексные на мерзлоте сообщества мерзлотных бугров и мочажин (33 %), из них на озера приходится около 5 %, мезотрофные мочажинные топи (2 %). Грядово-крупномочажинный комплекс с несвязной сетью гряд, мелкогрядово-мочажинный, грядово-мелкомочажинный комплексы, а также сильнообводненные мочажины располагаются по краям болота, в центральной же части болота господствуют разновидности бугристо-грядово-мочажинно-озерковых комплексов. Проведенные площадные подсчеты показали незначительную величину участия болот мезотрофного типа и отсутствие болот евтрофного типа в структуре болотных ландшафтов.

Леса на водоразделах (смешанные леса с кедром, пихтой и сосной кустарничково-зеленомошные, сосняки беломошники, кустарничково-сфагновые) занимают 32 %. Пойменные леса в долинах рек с кедром и пихтой составляют 5 % территории исследованного участка.

Широкое развитие болотных экосистем в благоприятных условиях климата и рельефа, позволяет рассматривать территорию природного парка как модель для изучения процесса болотообразования в суровых условиях севера и экстраполировать результаты исследования на сопредельные территории, имеющие сходные природные условия.

УДК 621.762

*В.И. Мали*¹, *В.А. Неронов*², *Т.С. Тесленко*¹, *В.П. Перминов*³

¹ Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

² Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск.

³ Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск

ВЗРЫВНОЙ СИНТЕЗ БОРИДОВ И ДРУГИХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*V.I. Maly*¹, *V.A. Neronov*², *T.S. Teslenko*¹, *V.P. Perminov*³

¹ M.A. Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of the Siberian Division of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk;

² S.A. Khristianovitch Institute of theoretical and applied mechanics of the Siberian division of the Russian academy of sciences, Novosibirsk;

³ Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

EXPLOSION SYNTHESIS OF BORIDES AND OTHER PROMISING MATERIALS

A number of high-melting compounds are synthesized in systems $\text{Mg} + \text{B}$, $\text{Mg} + \text{B}_2\text{O}_3$, $\text{Mg} + \text{B} + \text{Cu}$, $\text{Mg} + \text{Ni}$, $\text{Si} + \text{B}$, $\text{Ti} + \text{B} + \text{Cu}$ by explosion loading in steel cylindrical ampoules. Contact charges of explosive agents (BB) with detonation waves pressure 3 HPa and 7 HPa were used for the experiments. Some of the powder mixtures under test were subject to mechanical activation (before explosion) in a planetary ball mill (АГО-2М). Taking into account the shortness of the thermal and deformation effect, the synthesis was secured by the proper stoichiometric composition, grinding, mixing, preliminary powders activation and optimum intensity of shock waves. In comparison with the traditional methods explosion synthesis allows to receive nanostructural materials. The synthesized Mg_2Ni and MgB_2 yield amounted to 90% according to X-ray structure analysis. The reaction of MgB_2 formation in the mixture of $\text{Mg} + \text{B}$ and TiB_2 – in the mixture of $\text{Ti} + \text{B} + \text{Cu}$ goes almost to completion only on condition of preliminary mechanical powders activation.

Перспективность боридов как материалов современной техники, связана с их высокими температурами плавления, уникальным сочетанием физико-химических свойств. Так силициды бора обладают высокой химической устойчивостью, жаростойкостью, стойкостью к тепловым ударам и др. Известны высокие значения твердости и электропроводности боридов магния и титана. В последнее время были открыты и совершенно новые качества боридов, подхлестывающие интерес к их получению и использованию. Так, обнаружены сверхпроводящие свойства диборида магния MgB_2 при

температуре 40 К [1]. Синтез наночастиц диборид титана непосредственно в медной матрице [2] позволил получить композитный материал Cu-TiB₂ с высокой проводимостью и эрозионной стойкостью в сильноточных дуговых разрядах [3].

Другое соединение магния, например никелид магния Mg₂Ni, может быть эффективным гидридным аккумулятором для двигателей на водороде [4].

Трудности получения тугоплавких соединений магния связаны обычно с загрязнением конечного продукта окислом магния в условиях длительного высокотемпературного процесса. Синтез при взрывном нагружении позволяет сильно сократить время пребывания реакционной смеси при высоких температурах. Изучение эффектов ударного нагружения порошковых смесей, которые могут подвергаться экзотермическим реакциям в твердом состоянии, представляет особый интерес, так как в этом случае химические превращения могут происходить на ударном фронте. Скорость таких реакций может на несколько порядков превышать скорость горения в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), традиционно используемого для синтеза боридов.

Нами проведены эксперименты по взрывному синтезу соединений MgB₂, TiB₂, Mg₂Ni, боридов кремния. Взрывной синтез проводился в стальной цилиндрической ампуле со смесью порошков. Внутренний диаметр ампул 8 мм, толщина стенки 3 мм, длина полости 100 мм. Ампула располагалась по оси заряда диаметром 60 мм из аммонита или смеси аммонита с гексогеном с детонатором в верхнем конце. Давление в детонационной волне было 3 ГПа и 7 ГПа.

Количественный состав синтезированных продуктов исследовали методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-3 в Cu K излучении с графитовым монохроматором в отраженном луче для снижения уровня фона и, следовательно, обнаружения слабых линий.

Взрывной синтез диборида магния MgB₂ осуществлялся из смесей порошков следующих составов: Mg + 2B, 4Mg + B₂O₃, Mg + 2B + 30 % Cu, синтез диборида титана TiB₂ из смеси Ti + 2B + 60% Cu, боридов кремния из состава Si + 4B, и никелида магния Mg₂Ni из смеси состава 2Mg + Ni (см. табл. 1).

Во всех случаях конечный продукт был неоднороден по длине и диаметру ампул. В верхней части ампулы и по периферии средней ее части обычно оставалось некоторое количество исходных не прореагировавших веществ. Синтез происходил более полно в нижней трети ампулы и вокруг центрального канала по ее оси. Хотя газовая среда в ампуле – воздух, в синтезированных продуктах не обнаружены окислы магния, титана или кремния.

Реакции синтеза боридов магния, титана, кремния и никелида магния являются экзотермическими. В стационарных условиях возможен процесс СВС, в частности для MgB₂ и TiB₂ [5]. Добавление в смесь порошков меди иногда позволяет оптимизировать процесс, «уводя» лишнее тепло из зоны реакции [5]. Однако в случае взрывного нагружения смеси Mg + 2B + 30 % Cu образовалось соединение MgCu₂, а диборид магния в конечном продукте не обнаружен.

В системе $Mg + Ni$ существуют два соединения $MgNi_2$ и Mg_2Ni . Смеси, взятые в двух стехиометрических соотношениях, соответственно этим формулам, были нагружены взрывом аммонита по той же схеме. Рентгеноструктурный анализ показал, что соединение Mg_2Ni получено в количестве около 90 %, в то время как при составе $Mg + 2Ni$ взаимодействия не произошло.

В системе $Si + B$ могут существовать целый ряд боридов, причем некоторые из них дают похожие рентгенограммы наиболее сильных линий. После взрывного нагружения с давлением 3 ГПа в полученном материале удалось идентифицировать бориды кремния SiB_6 и SiB_4 (или, возможно, SiB_3) в количестве около 10 %, а также примеси соединения кремния с материалом ампулы $FeSi$ и $FeSi_2$.

Взрывное нагружение с давлением 3 ГПа порошка состава $4Mg + B_2O_3$ приводило к почти полному прохождению реакции синтеза MgB_2 в нижней трети ампулы (около 90 %) и в средней части ампулы вблизи центрального канала. Продукт представлял твердую спеченную массу с вкраплениями расплавленного магния. Реакция синтеза в смеси этого состава идет по схеме $B_2O_3 + 4Mg == MgB_2 + 3MgO$, то есть должна образоваться окись магния в конечном продукте. Однако нами этого зафиксировано не было, возможно из-за совпадения на рентгенограмме наиболее сильной линии MgO с самой интенсивной линией MgB_2 . К тому же все линии на рентгенограммах продуктов взрывного синтеза сильно расширены из-за большого количества дефектов кристаллической решетки. Кроме MgB_2 в конечном продукте присутствовал магний (около 10 %).

Попытки получить таким же образом диборид магния из смеси состава $Mg + 2B$ и диборид титана из смеси $Ti + 2B + 60 \% Cu$ не удавались, в конечном продукте после нагружения присутствовало значительное количество исходных компонентов. Выход был найден в предварительной механической активации. Смесь порошков меди (размер частиц 40 мкм), титана (10 мкм) и аморфного бора (0,5 мкм) обрабатывались в течение 2–5 минут в планетарной шаровой мельнице АГО-2М в режиме ускорения шаров 600 м/с^2 , отношение массы шаров к массе порошка 20/1 в атмосфере аргона. В процессе механоактивации реакция синтеза не шла, в продукте после такой обработки происходило лишь измельчение частиц порошка и их активация путем накопления неравновесных дефектов, что фиксировалось по значительному уширению рентгеновских дифракционных линий меди и титана. С увеличением длительности предварительной активации смеси от 2 до 5 минут на рентгенограммах продуктов взрывного синтеза полностью исчезали линии титана и появлялись и усиливались линии TiB_2 . Так при ударном давлении 3 ГПа можно получить почти полный синтез TiB_2 , увеличивая время предварительной механоактивации. Важным результатом стала высокая дисперсность синтезированных частиц диборида титана (0,2–0,5 мкм), распределенных в медной матрице. Такой композиционный материал обладает повышенной стойкостью к электрической эрозии в условиях сильноточных дуговых разрядов [3].

Подобным образом удалось провести взрывной синтез MgB_2 из смеси $Mg + 2B$ [6]. Без механической активации выход MgB_2 не превышал 30 % даже при 7 ГПа, а после механоактивации смеси порошков в течение 3 минут

нагружение с относительно небольшим давлением 3 ГПа приводило к почти полному (90 %) синтезу диборида магния.

Реакции синтеза тугоплавких боридов металлов хотя и требуют высоких температур, но являются экзотермическими, поэтому большинство из них удается осуществить при относительно небольшом давлении 3 ГПа (табл. 1). Успешному и более полному синтезу тугоплавких боридов способствует диспергирование и перемешивание компонентов, приводящее к большому количеству и увеличению поверхности контактов реагентов при высокоэнергетической обработке в мельнице. При последующем взрывном нагружении инициирование реакции синтеза происходит при сжатии пор благодаря локальному нагреву в окрестности поры. Запасенная материалом порошка энергия активации за счет насыщения неравновесными дефектами и связанными с ними микронапряжениями также способствует преодолению энергетического барьера инициирования процесса синтеза.

При ударно-волновом нагружении смеси разнородных порошков по цилиндрической схеме есть тенденция их сепарации по плотности, более тяжелые вещества преимущественно сдвигаются к центру ампулы. Важно, чтобы реакция синтеза начиналась, по крайней мере, одновременно с этим процессом, то есть на фронте ударной волны, а не позже в разгрузке, в «хвосте» остаточных температур. В некоторых наших экспериментах наблюдалось увеличение количества магния в центральной части компактов [6]. Процесс сепарации в этих условиях происходил раньше экзотермического процесса взаимодействия магния и бора. В этом случае дополнительная энергия активации, запасенная при предварительной механообработке, способствует более раннему инициированию реакции синтеза и более полному его осуществлению.

Таблица 1

Синтезируемое соединение	Состав исходной смеси	Время механоактивации	Давление в детонационной волне	Выход соединения
Mg B ₂	4Mg + B ₂ O ₃	--	3 ГПа	90%
	Mg + 2B	--	3 ГПа	10%
		--	7 ГПа	30%
		3 мин	3 ГПа	90%
TiB ₂	Ti + 2B + 60%Cu	2мин	3ГПа	50%
		5мин	3ГПа	100%
Mg ₂ Ni	2Mg + Ni	--	3ГПа	90%
MgNi ₂	Mg + 2Ni	--	3ГПа	--
Si B ₄ + Si B ₆	Si + B	--	3ГПа	10%

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. J. Nagamatsu, N. Nakagava, T. Muranaka, Y. Zenitani, and J. Akimitsu // Nature. 2001. 410:63.

2. O.I. Lomovsky, V.I. Mali, D.V. Dudina, M.A. Korchagin, D.-H. Kwon, J.-S. Kim, Y.-S. Kwon. Shock-wave synthesis of titanium diboride in copper matrix and compaction of TiB_2 -Cu nanocomposites // Mater.Sci. Forum Vols 534–536 (2007) P. 921–924.
3. J.-S. Kim, Y.S. Kwon, D.V. Dudina, O.I. Lomovsky, M.A. Korchagin, V.I. Mali. Nanocomposites TiB_2 +Cu: consolidation and erosion behavior // J. Materials Science, 40 (2005) 3401–3495.
4. В.П. Перминов, Т.С. Тесленко, В.И. Мали, В.А. Неронов. Взрывной синтез Mg_2Ni . // Современные проблемы геодезии и оптики. Новосибирск: СГГА. 2006, С. 57–59.
5. Д.В. Дудина, О.И. Ломовский, М.А. Корчагин. Реакции в металлической матрице: синтез и свойства нанокompозитов TiB_2 -Cu // Химия в интересах устойчивого развития. 2004. Т. 12. С. 319–325.
6. В.И. Мали, В.А. Неронов, В.П. Перминов, М.А. Корчагин, Т.С. Тесленко. Взрывной синтез диборида магния // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. С. 451-453.

© В.И. Мали, В.А. Неронов, Т.С. Тесленко, В.П. Перминов, 2008

УДК 528.91: 614.8 (571.14)

Ю.С. Щербаков

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Yu.S. Scherbakov

SSGA, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR HUMAN ACTIVITIES SAFETY SUPPORT

Multifunctional IT have been developed, to be used for human activities safety support. They are based on the special technology as well as special principles and methods. The author offers the principles of safety management and decision-making based on IT for different fields of safety engineering.

Информатизация управленческих процессов в различных сферах деятельности, в том числе и в управлении безопасностью жизнедеятельности, сориентирована прежде всего на решение широкого круга научных и производственных задач. Необходимость получения информации и информационных услуг в сфере управления безопасностью жизнедеятельности обеспечивает развитие, распространение и все более эффективное использование информационных технологий (ИТ).

Основные цели информационных технологий – обеспечение управления безопасностью в различных видах человеческой деятельности, развитие безопасных и качественных условий труда в техносфере, его управляемость и эффективность, конкурентоспособность и рентабельность.

Информационная технология для управления безопасностью жизнедеятельности (БЖД) – это системно-организованная последовательность операций, выполняемых над информацией с использованием современных средств и методов автоматизации. Операциями в информационных технологиях являются элементарные действия над информацией, которые можно рассматривать как базовые и различающиеся в конкретных реализациях только деталями или отдельными процессами, например, программным сервисом сканирования или постсканерной обработкой, возможностями преобразования исходной информации, качеством материала и т. д.

Средства и методы автоматизации процесса управления включают технику, программы, способы и подходы в организации информации, информационных систем и технологий, в обслуживании пользователей.

Технологии различаются составом и последовательностью операций, степенью их автоматизации (долей машинного и ручного труда), надежностью их выполнения. Надежность реализуется качеством выполнения основных операций и наличием разнообразных видов контроля. Кроме того, организация информационных технологий определяется рядом факторов и критериев, главными из которых являются: объемы информации, срочность и точность ее обработки, структурные и предметные особенности объекта, способы управления, соответствие временным регламентам взаимодействия производственных процессов и их элементов.

Создание информационных систем и информационных технологий, предназначенных для управления безопасностью жизнедеятельности, представляет собой сложный процесс проектирования. Он включает частичный или полный пересмотр деятельности аппарата управления в условиях вновь создаваемой в организациях информационно-технологической среды. Целью проектирования является подготовка проектных документов и внедрение человеко-машинной системы управления безопасностью жизнедеятельности. Основу такой системы составляет автоматизированная технология получения данных для обеспечения необходимой информацией структур и подразделений, а также разработка многовариантных сценариев и расчетов для принятия в режиме реального времени обоснованных управленческих решений (рис. 1).



Рис. 1. Информационная технология управления БЖД

В процессе проектирования необходимо выявлять наиболее существенные характеристики опасных объектов, негативные факторы производственной среды, опасные природные явления, особенности техносферы. Следует изучить внешние и внутренние информационные потоки, разработать систему защиты информации, создать математические и физические аналоги проектируемой технологии управления и её отдельных элементов. Объектами проектирования информационных технологий являются обеспечивающие подсистемы, реализующие процедуры сбора, передачи, накопления и хранения информации, ее обработки и формирования результатов расчетов в нужном для пользователя виде. Информационная технология должна представлять информационно-технологический базис для

функционирования информационной системы решения функциональных задач и системы поддержки принятия решений.

Информационная технология управления БЖД может иметь стандартное обеспечение:

- Организационное обеспечение представляет комплекс документов, составленный в процессе проектирования информационной системы управления, утвержденный и положенный в основу эксплуатации;

- Информационное обеспечение, которое представляет совокупность проектных решений по количеству опасных объектов, их размещению, видам и типам возможных аварий, циркулирующей в информационной системе;

- Лингвистическое обеспечение объединять совокупность языковых средств, необходимых для формализации естественного языка, построения и сочетания информационных единиц в ходе общения пользователей со средствами вычислительной техники;

- Техническое обеспечение – это комплекс технических средств (технические средства сбора, регистрации, передачи, обработки, отображения, тиражирования информации, оргтехника и др.), обеспечивающих работу информационных технологий;

- Программное обеспечение включает совокупность программ, реализующих функции и задачи информационных систем и обеспечивающих устойчивую работу комплексов технических средств;

- Математическое обеспечение – это совокупность математических методов, моделей и алгоритмов обработки информации, используемых при решении функциональных задач и в процессе автоматизации проектировочных работ;

- Правовое обеспечение представляет совокупность правовых норм, регламентирующих правоотношения при создании и внедрении информационных систем и информационных технологий.

Следует отметить особенности основных процедур в рассматриваемой технологии. Одной из главных процедур является обработка информации. Процедура обработки включает: операции получение информации в системе, обработки, вывода результатов, отображения результатов и их контроля. Все операции выполняются автоматически. Обработка отличается разнообразием видов и форм представления информации: символы, текст, таблицы, базы данных, изображения, сигналы и т. д.

Немаловажной является процедура формирования и использования базы данных, которая представляет собой информационную модель предметной области, например, база данных процесса управления безопасностью может содержать информацию о процессах управления, технологиях, природных и антропогенных чрезвычайных ситуациях и их источниках и т. п. Работа с базами данных осуществляется с помощью системы управления базами данных. Система управления базами данных – СУБД – это комплекс программных и лингвистических средств общего или специального назначения,

реализующий поддержку создания баз данных, централизованного управления и организации доступа к ним различных пользователей в условиях принятой технологии обработки данных. При наличии одной или нескольких баз данных может быть сформирован банк данных – автоматизированная информационная система централизованного хранения и коллективного использования данных. В состав банка данных входят справочник баз данных, система управления базами данных, а также библиотеки запросов и прикладных программ, связанных с управлением безопасностью жизнедеятельности. Содержание банка данных и методы его организации могут быть различны и зависят от назначения и задач управления.

Процедура решения проблемно-ориентированных и запросно-справочных задач связана с процессом управления безопасностью жизнедеятельности, основной целью которого является защита человека в техносфере от негативных воздействий.

Процедура создания системы поддержки принятия решений (СППР) основывается на взаимодействии информационной технологии с информационной системой обеспечения безопасности посредством аппарата управления. СППР, функционирующая в интерактивном режиме, способна решать задачи управления на основе мониторинга, анализа, моделирования и прогноза для обоснованного принятия решения. Система поддержки принятия решений может быть спроектирована для каждого уровня управления или как единая система управления для предприятия, но с разграничением уровня доступа.

Заключительной процедурой функционирования ИТ является формирование управленческих решений, т. е. целенаправленный процесс деятельности органов управления всех уровней для достижения цели или результата. Следует выделить две стороны управленческой деятельности: содержательную – процесс управления и материальную – система управления. При формировании управленческих решений особое внимание должно уделяться этапам, фазам, функциям, циклам и характеристикам процесса управления: комплексным, структурным и частным. Организация процесса управления должна соответствовать следующим требованиям:

- Управленческая деятельность (УД) должна отражать наиболее существенные объективные закономерности и взаимосвязи элементов организации УД;

- Управленческая деятельность должна характеризовать устойчивые закономерности, отношения и взаимосвязи элементов УД;

- Управленческая деятельность должна охватывать такие закономерности, которые характеризуют систему в целом, то есть носят общий, а не частный характер;

- Управленческая деятельность в области обеспечения безопасности жизнедеятельности должна учитывать специфические факторы воздействия внешней среды, трудовых процессов, уровня риска и др. при организации и выполнении всего комплекса мероприятий.

Основными принципами организации управленческой деятельности являются: комплексность, системность, регламентация, специализация, стабильность, творческий подход.

Для реализации принципов управления необходимы две составляющие: научная организация труда и максимальное использование творческого потенциала должностных лиц.

Ключевыми признаками принятия решения являются:

- Выбор рационального способ достижения цели;
- Результат выполнения одного из этапов процесса управления;
- Принятие заданного или сформированного критерия эффективности процесса управления и совокупность нескольких альтернативных способов достижения цели или вариантов управляющих воздействий;
- Возможность периодической корректировки при изменении цели (задачи) управления или появлении новых условий обстановки.

На основании ключевых признаков формируются основные принципы организации выработки решения:

- Принцип цели;
- Принцип соблюдения оптимизации между свободой действия и предписаниями;
- Принцип сочетания централизации и самостоятельности;
- Принцип приоритета функций над подразделениями;
- Принцип устойчивости к воздействиям внешней среды;
- Принцип прямой соподчиненности (только один непосредственный начальник);
- Принцип соразмерности ответственности с данными полномочиями;
- Принцип соответствия объема контроля и управления;
- Принцип безусловной ответственности руководителя за действия подчиненных;
- Принцип компетентности и профессионального соответствия руководителей на всех уровнях иерархии;
- Принцип равномерности распределения задач.

Методы выработки управленческих решений могут быть: математический, эвристический, интуитивный, комбинированный.

Рассмотренные процедуры информационной технологии управления безопасностью жизнедеятельности, как правило, аналогичны по составу для управляющих систем различного назначения.

УДК 504.062.2

С.П. Казьмин

ОАО «Новосибирская геолого-поисковая экспедиция», Новосибирск

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ ВОДОСБОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ БЕЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

S.P. Kazmin

ОАО «Novosibirsk geology-searching expedition», Novosibirsk

GEOECOLOGICAL SITUATION OF WATER-MODULAR TERRITORY BELOV OF THE WATER BASIN

Results of materials of remote sounding and ground inspection have allowed to estimate a modern condition of a hydrographic network and natural elements of landscapes, to allocate the anthropogenous objects breaking and polluting the natural environment, to reveal scales of a urbanization, industrial and agroindustrial development of water-modular territory of a water basin.

Беловское водохранилище руслового типа было искусственно создано в 1964 г. на р. Иня. Водохранилище сезонного регулирования образовано подпорными гидросооружениями Беловской ГРЭС, расположенными у с. Коротково Беловского района Кемеровской области в 547 км от устья реки. Длина водохранилища по руслу реки Иня достигает 19 км, средняя ширина около 1 км.

В настоящее время водосборная территория Беловского водохранилища испытывает разнообразные техногенные воздействия на естественную природную среду, что вызывает порой весьма негативные последствия, преобразующие естественные ландшафты и порождающие в них отрицательные обусловленные сдвиги. Каждый из антропогенных факторов воздействия влияет на экологическую обстановку как независимо от других, так и в определённой взаимосвязи с ними. Всякая техногенная нагрузка на природные комплексы и экосистемы приводит к явному ухудшению их экологического состояния.

Расположение рассматриваемой территории в своеобразных типах рельефа: в долине реки Иня, заполненной водными массами путем искусственного запруживания плотиной; зоне сочленения левобережной плосковолнистой слаборасчленённой аккумулятивной равниной и правобережной расчленённой аккумулятивно – денудационной поверхности повлияло на пространственное размещение техногенных систем и объектов (промышленных, сельскохозяйственных, энергетических и транспортно-коммуникационных, рекреационных), которые характеризуются разными

сочетаниями и формами проявления нарушения природной среды в отдельных ландшафтах водосборной площади.

На основании анализа аэроснимков и данных наземных наблюдений были установлены дешифровочные признаки объектов Беловского водохранилища и прилегающей к нему территории, по которым были выделены природные и антропогенные объекты.

Природные объекты – долина р. Иня выше водохранилища (русло, пойма, первая терраса), лесные массивы, зона развития заболачивания, луговые земли.

Антропогенные объекты – плотина, водосливная часть плотины, акватория водохранилища, подводящий канал ГРЭС (водозабор), сбросной канал ГРЭС, дамба, отстойники, промышленные зоны, рыбное садковое хозяйство, селитебные зоны, рекреационные зоны, автомагистрали, автомобильные дороги с покрытием, грунтовые дороги, полевые и лесные дороги, распаханые поля, плодopитомники, коллективные сады. Наиболее крупным промышленным техногенным объектом, примыкающим к акватории Беловского водохранилища, является Беловская ГРЭС, филиал ОАО «Кузбассэнерго». Предприятие базируется в пос. Инской (в 8 км к северо-востоку от г. Белово) на двух промплощадках.

На акватории водохранилища выделены – глубоководная часть, динамичная часть, аккумуляция вдольбереговых наносов, циклоничный меандр (циркуляция водных масс), камышовые и тростниковые заросли, участки развития фитопланктона, места переноса взвешенных веществ. Вдоль береговой линии выделены участки переработки берегов водохранилища и в прибрежной зоне участки развития оползней.

В левобережье водохранилища в пределах Бачат-Инского междуречья сосредоточен промышленный потенциал рассматриваемой территории. Здесь, в пределах промышленного района и городских районных агломераций, развиты промышленные объекты, в том числе Беловская ГРЭС, коммунальное хозяйство, транспортная сеть, свалки бытовых и промышленных отходов и прочие объекты. Главным фактором преобразования природной среды являются техногенные процессы. Размещение вскрышных грунтов в отвалах вызывают нарушения значительных площадей. Непосредственно на поверхности угольных разрезов, гидроотвалов происходят процессы пылеобразования и окисления, что в свою очередь приводит к загрязнению атмосферы, почвогрунтов, поверхностных и подземных вод. Транспортно-коммуникационные линейные объекты (автомобильная магистральная дорога по насыпям, линии электропередач) оказывают влияние в зоне до 300 м по обе стороны системы в зависимости от ширины коридора. Их прокладка изменила режим поверхностного и грунтового стоков. Для поддержания природного (экологического) равновесия вдоль основных автодорог высажены защитные лесополосы. Наиболее выположенные участки, где сосредоточены основные массивы черноземов, распаханы. Глубокая вспашка полей без учета особенностей естественного рельефа привела к эрозии почвы, изменению направлений потоков поверхностных вод. Для защиты распаханных

территорий от ветровой и водной эрозии на обрабатываемых землях в левобережье участками размещены лесополосы.

В правобережье водохранилища основным антропогенным фактором, воздействующим на экологическую ситуацию, является земледелие, менее существенным – животноводство. Загрязнение компонентов природной среды носит, как правило, локальный характер и достаточно четко контролируется нарушениями режимов природопользования (нарушения складирования ГСМ, удобрений, ядохимикатов, неорганизованные свалки, сплошная вспашка и т. д.). В качестве сенокосов и пастбищ для животноводческого комплекса используются территории луговых почв, естественные понижения (лога, балки и т. д.), лесные луга. Немаловажную роль на нарушение экологического равновесия окружающей среды и на состояние компонентов природной среды, особенно режим и состав поверхностных и подземных вод, играют несакционированные лесные вырубки, приводящие к обезлесению территории.

Сформированные агропромышленные хозяйства, как в правобережье, так и в левобережье водосборной территории специализированные по видам земледелия и культурам, разновидностям использования земель, подвергают почвогрунты зоны аэрации, поверхностные и подземные воды органоминеральному загрязнению: нитратами, аммонием, пестицидами, фосфатами, калием, местами тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

В левобережье прибрежная полоса между отводящим каналом и водохранилищем используется как зона отдыха. На территории расположены: морской прокат безмоторной техники, городской пляж, спасательная станция, парусный яхт-клуб, сады. На правом берегу водохранилища расположены зоны и базы отдыха предприятий и организаций города, района, частных лиц.

При изучении геоэкологической ситуации территории по аэроснимкам большое внимание уделяется изучению экзогенных геологических процессов – почвенной эрозии, оползням, речной эрозии, переработке берегов водохранилища, заболачиванию. Дешифрирование аэроснимков позволяет установить типы и виды процессов, формы их проявления, область распространения, стадию развития, влияние на окружающую среду, воздействие на инженерные сооружения. Аэроснимки дают ценную информацию о факторах и условиях, порождающих и контролирующих геологические процессы, а также о современной их динамике. Дистанционные методы призваны сыграть большую роль в оценке территории с точки зрения опасности развития тех или иных неблагоприятных процессов при их хозяйственном освоении.

Создание Беловского водохранилища способствовало нарушению базиса эрозии и береговой линии, что привело к возникновению ряда негативных экзогенных геологических процессов и, в первую очередь, разрушению берегов. Интенсивность разрушения берегов остается высокой, благодаря развитию вдоль береговой линии процессов оврагообразования, плоскостного смыва почвогрунтов, оползней. Переработка берегов, формирование прибрежных

отмелей и интенсивное ветровое волнение вызывают возникновение вдольбереговых аккумулятивных наносов.

Из современных экзогенных геологических процессов на водосборной территории наиболее развиты боковая речная эрозия, особенно на вогнутых сторонах излучин, овражная эрозия по береговым склонам рек, осыпи и обвалы по подмываемым склонам рек и оврагов, плоскостной смыв почвогрунтов на распаханых полях, суффозионно-просадочные блюдца на междуречьях, ветровая эрозия, заболачивание днищ просадочных понижений и зарастающих балок.

Геоэкологическая ситуация территории на основании проведенных исследований оценивалась по степени её благоприятности (безопасности) на основе качественного учета следующих факторов:

- Наличия и интенсивности опасных геологических явлений и процессов;
- Возможности активизации опасных геологических процессов в результате антропогенного (техногенного) нарушения природного (экологического) равновесия;
- Распространения и интенсивности геохимического загрязнения поверхностных вод и донных отложений вредными элементами;
- Степени нарушенности рельефа и ландшафта в целом техногенным воздействием;
- Надежности природоохранных мероприятий.

Благоприятные территории прослеживаются в районах распространения лесных массивов. Опасные геологические явления и процессы здесь отсутствуют, активизация их маловероятна. Природные и техногенные загрязнения локализованы на площади источников, геохимические аномалии либо отсутствуют, либо локальны и не превышают ПДК. Рельеф практически не нарушен. Природоохранные мероприятия практически не требуются или должны проводиться на локальных участках.

Территории с удовлетворительной обстановкой имеют следующие критерии выделения. Экзогенные геологические процессы и явления имеются, но не носят опасного характера, их активизация в катастрофическом масштабе маловероятна. Среди экзогенных геологических процессов, развитых на территории выделяются: плоскостной смыв почвогрунтов при распашке земель, оврагообразование, суффозионная просадочность, дефляция, оползни и обрывы, заболачивание земель, подтопление грунтовыми водами населенных пунктов, боковая речная эрозия, переработка берегов водохранилища. Плоскостной смыв наблюдается на пологих склонах с крутизной более 1-2° и заключается в сносе почвы водой, стекающей в виде многочисленных струй в период снеготаяния и ливневых дождей по легкоразмываемым суглинкам и распаханым полям. Оврагообразование приурочено к долинам местных рек. Овраги молодые, стенки обрывистые, осыпные. Проявлению их способствует хозяйственная деятельность человека: выпаса скота, нарушение почвенного

покрова, колеи от машин. Суффозионно-просадочные явления широко развиты на возвышенных участках междуречий. Понижения разнообразной формы и различных размеров (от нескольких метров до 50–100 м в поперечнике) и глубиной преимущественно 0,3–1,5 м приурочены к ровным плоским участкам, сложенным просадочными лессовидными суглинками. Степень воздействия дефляции зависит от рельефа местности и скорости ветра. В первую очередь ветровой эрозии подвергаются выпуклые распаханые участки поверхности и ветроударные склоны, сложенные неуплотненными лессовидными осадками. С подъёмом уровней грунтовых вод и выходом подземных вод на поверхность связано развитие небольших оплывин и оползней на склонах, заболачивание в верховьях местных водотоков, подтопление застроенных территорий населённых пунктов. Переработка берегов водохранилища представляет комплекс процессов разрушения берегов. Одновременно с переработкой берегов водохранилища развивается процесс его заиления, т. е. заполнения чаши водохранилища осадками, поступающими в акваторию за счёт разрушения берегов, твердого стока притоков и сноса окружающих пространств. В процессе разрушения берегов принимают участие такие процессы как оползни и обвалы. На аэроснимках хорошо просматривается не только мелководная прибрежная часть водохранилища, но и глубокие его части, наиболее динамичная часть акватории, циркуляция водных масс, перенос взвешенных веществ, участки зарастания тростником и камышом, места скапливания фитопланктона. Природные и техногенные загрязнения распространены за пределами источников, но отмечаются наличие участков, где содержание загрязняющих веществ превышает нормируемые показатели до 10 ПДК. Рельеф в основном нарушен распашкой земель, пастбищами, размещением селитебных и рекреационных зон, коллективными садами и дорогами. Природоохранные мероприятия должны выполняться в пределах опасных участков.

На напряженных территориях главным фактором преобразования природы являются техногенные процессы. Компоненты геологической среды в пределах агропромышленных агломераций и их окрестностях загрязняются широким спектром токсичных элементов различного класса опасности, поэтому являются объектами тщательного изучения природоохранных организаций.

Использование материалов аэрофотосъёмки позволили оценить пространственные масштабы урбанизации, промышленного и агропромышленного освоения водосборной площади Беловского водохранилища на современном этапе, обосновать мероприятия по рациональному природопользованию и охране природной среды. Полученные результаты являются первым этапом для начала ведения геоэкологического мониторинга с использованием дистанционных методов. Полнота и достоверность оценки геоэкологического состояния напрямую связаны с объёмом и качеством исходной информации, а также с репрезентативностью наблюдений за длительный срок.

УДК 556:504 (571.14)

М.А. Креймер, П.В. Кужельная

СГГА, Новосибирск

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ УРБАНИЗАЦИИ НОВОСИБИРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

M.A. Kreymer, P.V. Kuzhelnaya

SSGA, Novosibirsk

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF CHANGES IN WATER USEDURING NOVOSIBIRSK AGGLOMERATION URBANIZATION PROCESS

The laws of Novosibirsk agglomeration development are considered. The author shows what causes efficiency decrease as concerns water usage management on the urbanized territory. The principal scheme of a complex geoecological analysis and water objects protection measures are substantiated. Priority problems of geoecological estimation of changes in water usage on the urbanized territory are highlighted.

Процессы урбанизации способствуют эффективности экономики, но создают геоэкологические проблемы. Среди различных природных объектов в процессе урбанизации водный фактор в большей мере претерпевает изменения, когда нарушается рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды [1].

В Новосибирской области процессы урбанизации получили ускорение с начала зарегулирования режима стока воды реки Оби, вследствие перекрытия ее русла платиной Новосибирской ГЭС. Формирование Новосибирского водохранилища завершилось в июне 1959 г., которое относится к числу крупнейших, и имеет объем 8 860 млн. м³ воды, протяженность достигает 240 км, ширина местами до 20 км.

С образованием Новосибирского водохранилища изменилась производственная инфраструктура в части энергетики и транспорта. В результате урбанизации в Новосибирское водохранилище попадает слишком большое количество различных отходов, которые делают воду непригодной для питья и существования многих водных организмов. Вода стала загрязняться биогенными элементами которые, попадая в водохранилище с канализационными стоками, отходами промышленности, поверхностными стоками с территорий города, садоводческих обществ вызывают «цветение воды» – увеличение численности микроскопических водорослей, способных к фотосинтезу бактерий. По данным ежегодных обзоров подразделений

Росгидромета и Роспотребнадзора состав и свойства в реке Оби и её притоках изменились в худшую сторону.

С 1956 г. численность населения города Новосибирска увеличилась в 1,6 раза. Количество питьевой воды, подаваемой через централизованную систему водоснабжения, увеличилось в 10 раз. Одновременно существенно изменилось качество воды для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и культурно-бытового водопользования в Верхнем Приобье.

Имеющиеся различные научные материалы по водопользованию в Новосибирской агломерации, оценивающие ситуацию как экологическую и санитарно-гигиеническую проблему недостаточны [2, 3]. Необходим комплексный геоэкологический подход, изучающий состав, строение, свойства, процессы, протекающие в физических и геохимических полях атмосферы, гидросферы, педосферы и их взаимосвязи. Водная среда относится к важнейшим жизнеобеспечивающим ресурсам и поэтому подвержена влиянию антропогенных факторов.

Анализ геоэкологической эффективности водоохраных мероприятий является важным этапом в пространственном анализе территорий, так как управление водопользованием осуществляется на уровне субъекта федерации, а планирование – на федеральном уровне. Для согласования интересов различных водопользователей предусматривается разработка Схемы комплексного использования и охраны водных объектов по речному бассейну, подбассейнам, водохозяйственным участкам и территориям субъектов Российской Федерации [4].

Применение геоэкологического подхода обусловлено наличием множества различных водопользователей в бассейне одной реки. Различные интересы водопользователей на протяженном участке реки и её притоков были гармонизированы в 50-е годы в СССР на основе Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами [5]. Система гармонизации была построена на следующих принципах:

1. Вопросы охраны водоемов от загрязнения должны рассматриваться с точки зрения социального значения проблемы – необходимости создания благоприятных условий водопользования в интересах здоровья населения и развития народного хозяйства.

2. Изменения состава и свойств воды в водоемах, происходящие под влиянием спуска сточных вод, сами по себе еще не определяют вредности сточных вод, если не ограничивают безопасное и целесообразное водопользование.

3. Критерием вредности поступающих в водоемы сточных вод (или, что то же, основанием для признания загрязнения водоема) могут быть лишь характер и степень ограничения водопользования, которые возникают или могут возникнуть в результате спуска сточных вод.

4. Не может быть единого критерия вредности сточных вод, поскольку различен характер водопользования (для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целей, для разнообразных народнохозяйственных нужд). Вследствие

этого неизбежной является дифференциация методов исследования и определения специальных требований.

5. Гигиеническим критерием вредности поступающих в водоемы сточных вод должна служить степень ограничения хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, которая возникает (или может возникнуть) в связи с загрязнением воды, создающим опасность для здоровья населения или ухудшение санитарных условий жизни [6].

Этих принципов в настоящее время недостаточно, так как за прошедшие 50 лет увеличились масштабы водопользования, в худшую сторону изменился состав сточных вод, по берегам рек возросло число населенных пунктов, для которых необходимо соблюдение требований санитарных правил в створах водопользования. Поэтому становится актуальным развитие новых принципов водоснабжения, которые бы учитывали геоэкологическую оценку изменения водопользования и были направлены на сохранение реки как главной артерии биосферы. При этом объекты биосферы являются первичными водопользователями, население – вторичными, а промышленность, по действующим нормативам обеспечивается водными ресурсами в последнюю очередь.

В последние годы в России кардинально изменилось отношение общества к использованию поверхностных вод. Произошла полная перестройка структуры управления водными ресурсами, вступила в силу новая нормативно-правовая база водопользования, введен жесткий многоступенчатый контроль за загрязнением водоемов. Однако они сохраняют сложившиеся методические подходы, которые эффективны для не урбанизированных территорий.

Необходимо, на наш взгляд, обновление принципов регулирования водопользования с учетом комплексных геоэкологических подходов. В то же время сами геоэкологические подходы должны развиваться на основе опыта, полученного при разработке и применении Схем комплексного использования и охраны водных объектов. В последней редакции документа Схема разрабатывается в целях определения допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты; определения потребностей в водных ресурсах в перспективе; обеспечения охраны водных объектов; определения основных направлений деятельности по предотвращению негативного воздействия вод [7].

Помимо целей, определенных в нормативно-методических документах, Схема должна содержать анализ эффективности выполнения ранее установленных норм антропогенной нагрузки на водные объекты и мероприятий по их охране. Для этого предлагается решение трех взаимосвязанных задач (табл. 1).

1. Эффективность соблюдения санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных норм по данным мониторинга;

2. Достаточность территориальной организации водоохраных зон и зон санитарной охраны для обеспечения санитарно-гигиенических и экологических требований;

3. Надежность инженерных расчетов норм предельно допустимых воздействий на водные объекты и норм предельно допустимого сброса сточных вод.

На основании оценки эффективности соблюдения санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных нормативов принимается решение:

а) О сохранении нормативов ПДВВ или изменении модели водопользования [8];

б) Об изменении размеров водоохранных зон и зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения [9, 10];

в) Об уменьшении числа водопользователей и совершенствовании технологии по уменьшению содержания в сточных водах химических ингредиентов и других негативных факторов [11];

г) О совершенствовании гидрографического и водохозяйственного районирования.

Таблица 1. Принципиальная схема комплексного геоэкологического анализа и обоснования мероприятий по охране водных объектов

Аналитические задачи		
1	2	3
Эффективность соблюдения санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных норм по данным мониторинга	Достаточность территориальной организации водоохранных зон и зон санитарной охраны для обеспечения санитарно-гигиенических и экологических требований	Надежность инженерных расчетов норм предельно допустимых воздействий на водные объекты и норм предельно допустимого сброса сточных вод
Планируемые цели исследования:		
1. Целевые показатели качества воды в водных объектах 2. Квоты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и сброса сточных вод	1. Перечень водохозяйственных мероприятий и мероприятий по охране водных объектов 2. Основные целевые показатели уменьшения негативных последствий наводнений и других видов негативного воздействия вод	1. Водохозяйственные балансы 2. Лимиты (предельные объемы) забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и лимиты (предельные объемы) сброса сточных вод 3. Предполагаемый объем необходимых для реализации схем финансовых ресурсов

В аналитической части Схемы необходимо предусмотреть следующие цели исследования:

1. Целевые показатели качества воды в водных объектах с учетом гидрографического и водохозяйственного районирования;

2. Основные целевые показатели уменьшения негативных последствий наводнений и других видов негативного воздействия вод на основе геоэкологических закономерностей;

3. Водохозяйственные балансы между смежными водохозяйственными районами;
4. Лимиты (предельные объемы) забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и лимиты (предельные объемы) сброса сточных вод по критерию сохранения состава и свойства воды водных объектов;
5. Перечень водохозяйственных мероприятий и мероприятий по охране водных объектов;
6. Предполагаемый объем необходимых для реализации схем финансовых ресурсов по совокупности инженерных и геоэкологических мероприятий.

Без единых геоэкологических принципов нельзя обеспечить выполнение положений Схемы комплексного использования и охраны водных объектов. Поэтому одной из важных задач Схемы является обоснование межотраслевых принципов водопользования, в то же время единых для различных субъектов федерации, расположенных в одном бассейновом округе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные направления развития водохозяйственного комплекса России до 2010 года [Электронный ресурс]. Утверждены распоряжением Правительства РФ от 31.05.2004 г., № 742-р. – Режим доступа: http://www.allbusiness.ru/BPravo/DocumShow_DocumID_90598.html
2. Оценка состояния водоснабжения и водоотведения. Информационно-методическое письмо Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 10.04.2006 г, № 0100/4037-06-32 // Консультант плюс.
3. Рекомендации «круглого стола» на тему: «О проблемах обеспечения безопасности питьевого водоснабжения населения» [Текст] // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2006. – № 3. – С. 59–62.
4. Правила разработки, утверждения и реализации схем комплексного использования и охраны водных объектов, внесения изменений в эти схемы. Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2006 г. № 883 // Консультант плюс.
5. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами № 379 – 61 [Текст]. М.: Минздрав СССР, 1961.
6. Черкинский, С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы [Текст] / С.Н. Черкинский. – 5-е изд, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1977. – 224 с.
7. Методические указания по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов [Электронный ресурс]. Утверждены приказом МПР РФ от 4 июля 2007 г. № 169. Зарегистрировано в Министерстве юстиции РФ 10 августа 2007 года, регистрационный № 9979. – Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/files/part/2484_169.doc.

8. Российская Федерация. Правительство. О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Постановление Правительства РФ [от 30 дек. 2006 г. № 881] // Консультант плюс.

9. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения СанПиН 2.1.4.1110-02.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.crc.ru>.

10. Российская Федерация. Правительство. О водоохраных зонах водных объектов и их защитных полосах. Постановление Правительства Российской Федерации [от 23.11.1996 г., № 1404] // Рос. газ., 1996. – 11 дек.

11. Инструкция об организации выдачи разрешений на сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду (водные объекты) [Электронный ресурс]. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 июля 2006 г. № 675. – Режим доступа: <http://www.sibtechnadzor.ru/>.

© М.А. Креймер, П.В. Кужельная, 2008

УДК 504
М.А. Креймер
СГГА, Новосибирск

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И СХЕМА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СУБЪЕКТА ФЕДЕРАЦИИ

M.A. Kreymer
SSGA, Novosibirsk

ECOLOGICAL MONITORING AND R.F. SUBJECT TERRITORIAL PLANNING SCHEME

Three directions of ecological monitoring are substantiated. The monitoring data are proved to be useful for registering ecological patterns when developing territorial planning scheme. The second direction involves monitoring of the design solutions. The third one deals with fundamental investigation on nature – community interaction.

В соответствии с градостроительным кодексом [1] основным документом землепользования является Схема территориального планирования, определяющая распределение земли по категориям землепользования, отвечающая интересам охраны здоровья человека и сохранения эндемичных участков биосферы, и обеспечивающая расширенное воспроизводство экономики. На территории субъекта федерации могут быть различные по площади следующие категории земель: а) особо охраняемые территории и объекты; б) земли лесного фонда; в) земли водного фонда; г) земли населенных пунктов; д) земли сельскохозяйственного назначения; е) земли промышленности; ж) земли запаса. Используемые категории земель отражают сложившееся природопользование с учетом природных ресурсов и экономического развития территории. В этом проявляется наиболее общая модель взаимодействия общества и природы. Минимальный уровень взаимодействия происходит в заповедниках, а максимальный на территории предприятия. Первичным и неизменным является здоровье человека, изменяется только общество и социальные отношения между людьми, экономика призвана обеспечить сохранение здоровья и социальные изменения в обществе. Составление схемы территориального планирования субъекта федерации играет важную роль в социально-экономическом развитии, так как в ней интегрируются интересы экономики и экологии, санитарно-эпидемиологические требования к благополучной среде обитания человека.

В Положении о схеме территориального планирования Российской Федерации [6] принят следующий состав: 1) описание целей и задач

территориального планирования применительно к конкретной схеме территориального планирования; 2) перечни мероприятий по территориальному планированию, обеспечивающих устойчивое развитие территорий и последовательность выполнения мероприятий. На основе федерального документа приняты региональные законы (положения) о разработке схемы территориального планирования субъекта федерации. Они имеют различный уровень детализации и перечень выходных документов. В пределах субъекта федерации такой подход может быть достаточным, однако, он ограничивает составление водохозяйственных комплексных схем, лесоустроительных планов, схем организации особо охраняемых природных территорий с учетом ландшафтных особенностей территориальных комплексов. Схемы территориального планирования в субъектах федерации должны содержать обоснование представительности каждой категории землепользования или их отсутствия.

Проект схемы территориального планирования Новосибирской области включает обосновывающие материалы и карты [2]. Материалы по обоснованию проекта схемы территориального планирования в текстовой форме содержат обоснование по территориальному планированию, перечень мероприятий по территориальному планированию, обоснование предложений по территориальному планированию, этапы их реализации, перечень основных факторов риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Состав карт и обосновывающие к ним материалы не дифференцированы по категориям землепользования и принятому в них составу земель. При разработке Схемы не учитываются обязательные проекты норм природопользования (табл. 1).

Другим важным вопросом является использование системной информации о субъекте федерации, получаемой на основе специального экологического, экономического и социально-гигиенического мониторинга [3]. В Российской Федерации длительное время осуществляется контроль за содержанием различных ингредиентов в объектах окружающей среды. Эту работу предлагалось, периодически совершенствовать на основе создания экологического мониторинга [7]. В перечисленных документах предусматривается проведение натурных исследований в научных интересах и практических целях по охране окружающей среды. Одной из важных практических целей является: 1) оценка состояния окружающей среды для разработки схемы территориального планирования субъекта федерации; 2) оценка эффективности выполнения проектных решений. Помимо перечисленных целей не менее важной целью является совершенствование научных знаний: а) об экосистеме, б) выделенных 7 категорий землепользования, в) о миграции атомов в окружающей среде, г) о закономерностях устойчивого развития государства, д) о методах расчетов прогнозов.

Важной задачей является научное обоснование представительности каждой категории землепользования в соответствии с природным

территориальным комплексом, включающим водосборные бассейны рек, ландшафтное районирование и пр. Классификация природных объектов более многогранна и здесь должны быть сосредоточены все геоэкологические исследования, направленные на оценку допустимости сложившейся модели природопользования, включающей добычу полезных ископаемых и размещение отходов производства и жизнедеятельности человека.

Таблица 1. Основные законодательства, регламентирующие классификацию земель на основе проектов норм природопользования

Категория землепользования	Состав земель	Проекты норм природопользования
Земли особо охраняемых территорий и объектов	1) государственные природные заповедники, в том числе биосферные; 2) национальные парки; 3) природные парки; 4) государственные природные заказники; 5) памятники природы; 6) дендрологические парки и ботанические сады; 7) лечебно-оздоровительные местности и курорты.	1. Схемы развития и размещения особо охраняемых природных территорий. 2. Схемы охраны природы.
Земли лесного фонда	1) защитные леса и особо защитные участки лесов, 2) эксплуатационные леса; 3) резервные леса	1. Лесной план 2. Лесохозяйственный регламент 3. Проект освоения лесов
Земли водного фонда	1) бассейновый округ 2) речной бассейн 3) водохозяйственный участок	1. Гидрографическое и водохозяйственное районирование территории РФ 2. Схемы комплексного использования и охраны водных объектов 3. Нормативы допустимого воздействия на водные объекты и целевых показателей качества воды в водных объектах 4. Водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы
Земли населенных пунктов	1) градостроительное зонирование 2) функциональное зонирование 3) градостроительный регламент	1. Схема территориального планирования 2. Генеральный план 3. Проект норм твердых бытовых отходов 4. Обеспечение санитарно-эпидемиологических требований
Земли сельскохозяйственного назначения		
Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения	Санитарно-защитная зона 1) 50 м 2) 100 м 3) 300 м 4) 500 м 5) 1000 м	1. Нормы образования и захоронения промышленных токсических отходов 2. Нормы предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферный воздух 3. Нормы предельно допустимых сбросов сточных вод в водоемы

Нами предлагается мониторинг на территории субъекта федерации в интересах устойчивого природопользования на основе схемы территориального планирования осуществлять по следующим трем направлениям (табл. 2).

Таблица 2. Виды мониторинга на территории субъекта для разработки схемы территориального планирования

Мониторинг	№ 1	№ 2	№ 3
Цель	Оценка состояния окружающей среды для разработки схемы территориального планирования субъекта федерации	Оценка эффективности выполнения проектных решений	Совершенствование научных знаний: 1) об экосистеме, 2) выделенных 7 категорий землепользования, 3) о миграции атомов в окружающей среде, 4) о закономерностях устойчивого развития государства, 5) о методах расчетов прогнозов
Территория	С учетом известных природно-территориальных комплексов	Зона влияния объекта	Вне категорий землепользования
Миграция химических элементов	В пределах природных закономерностей	С учетом инженерных мероприятий по охране окружающей среды	Преимущественно 3 рода (рассеянные, редких земель, сильно радиоактивные) и искусственные изотопы
Перечень показателей	Отражает представительность каждой категории землепользования	Отражает «проникновение» смежных категорий землепользования	Характеризует: а) неустойчивые процессы, б) развивающиеся экспоненциально, в) новые формы движения вещества и энергии.

В настоящее время схема территориального планирования субъекта федерации разрабатывается без специальных предварительных исследований окружающей среды. Для решения 1-ой цели мониторинга территория субъекта федерации подразделяется с учетом известных природно-территориальных комплексов. В пределах природных закономерностей изучается миграция химических элементов. Перечень показателей отражает представительность каждой категории землепользования.

После принятия схемы территориального планирования, важно проводить мониторинг эффективности выполнения проектных решений. При реализации 2-й цели мониторинга территория классифицируется на зоны влияния, на которых с учетом инженерных мероприятий по охране окружающей среды оценивается миграция химических элементов. Перечень

показателей должен содержать характеристику «проникновения» смежных категорий землепользования посредством миграции химических элементов.

Мониторинг в целях получения научных знаний об экосистеме, о миграции атомов в окружающей среде, о закономерностях устойчивого развития государства, о методах расчетов прогнозов должен проводиться вне зависимости от сложившихся моделей природопользования по 7 категориям. Во-первых, нет научных обоснований, что 7 категорий землепользования, принятых в земельном кодексе и используемых в государственном кадастре, отражают естественные процессы взаимодействия природы и общества, а во-вторых, даже при их объективности, имеют ограниченный во времени характер функционирования и применения. Поэтому важно в результате проведения третьего направления мониторинга определить момент смены модели природопользования по отдельным территориям, объектам окружающей среды и химическим соединениям.

Основой взаимодействия природы и общества является круговорот химических соединений. С образованием семи категорий землепользования возрастает число моделей природопользования. Рост использования не только в количественном отношении, но и расширение перечня химических элементов свидетельствуют о появлении новой формы миграции атомов 3 рода и зависимости, будущих алгоритмов управления системой «человек и биосфера» от теоретических основ регулирования биогеохимической деятельности по критерию сохранения биосферы и здоровья человека.

Помимо известных моделей установления причинно-следственных закономерностей, основанных на миграции атомов 1 и 2 рода, необходимо создание новых моделей о влиянии химических элементов 3-го рода на здоровье человека. Только на основании количественной характеристики миграции атомов 3 рода можно оценить уровни взаимопроникновения каждой категории землепользования и выстроить необходимые технико-экономические барьеры.

Программа социально-экономической оценки территорий строится с использованием данных экологического мониторинга осуществляемого по трем направлениям. Показатели мониторинга должны быть дифференцированы по категориям землепользования и позволять оценивать их устойчивое функционирование. Для этого уже приняты документы о создании информационного фонда по лесным [5] и водным ресурсам [4]. Устойчивое развитие обеспечивается созданием экологических средств труда, содержание которых и определяется на основании данных экологического мониторинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 г., № 190-ФЗ.
2. Закон Новосибирской области О проекте схемы территориального планирования Новосибирской области 15.05.2006 г., № 13-ОЗ.

3. О Порядке проведения социально-гигиенического мониторинга, представления данных и обмена ими Приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 17. 11. 2006 г., № 367.

4. О Фонде информации по водным ресурсам МПР России. Приказ МПР от 27.01.2003 г., № 48.

5. О Фонде информации по лесным ресурсам МПР России. Приказ МПР от 27.01.2003 г., № 50.

6. Положение о составе схем территориального планирования Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 13.11.2006 г., № 680.

7. Положение об организации и осуществлении государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга). Утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 31.03.2003 г., № 177.

© М.А. Креймер, 2008

УДК 504: 631.4

Е.В. Половников, П.А. Крафт, М.П. Тельбух, И.Н. Белоус, В.А. Казанцев
СГГА, Новосибирск

ЗИМНИЙ СОЛЕПЕРЕНОС НА РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

Ye.V. Polovnikov, P.A. Kraft, M.P. Telbukh, I.N. Belous, V.A. Kazantsev
SSGA, Novosibirsk

WINTER SALT-TRANSFER ON DIFFERENT SOILS OF BARABA PLAIN

The article analyzes the processes of winter pedogallogenesis on Baraba plain. The author presents the results of field investigations for four types of Baraba plain in winter 2005–2006. The acquired data analysis revealed the tendency of soils self-desalination in winter.

Общие тенденции процессов зимнего галогенеза в почвах Барабы, да и в целом по земному шару, до настоящего времени изучены фрагментарно. Во многих регионах прослежено лишь перемещение солей по почвенной толще под воздействием различных градиентов. Существуют также единичные исследования по переносу вещества и энергии через снежную толщу, по поступлению водорастворимых веществ в снег из подстилающих пород.

Главное отличие нашей работы в том, что отбор проб осуществляется не только в условиях прямого контакта почвы со снегом, но и без него, что позволяет отделить долю веществ, поступающих непосредственно из почвы от привнесения их ветром.

Представленные исследования проходили на Барабинской равнине в районе г. Здвинска зимой 2005/2006 и зимой 2006/2007 годов.

Уже в начале зимы (середина декабря) на мерзлый слой почвы был уложен двойной слой полиэтиленовой пленки для разделения системы «почва – снег». Одновременно отбирались почвенные образцы в интервалах глубин 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30–40 см.

В конце зимы до начала снеготаяния (конец марта) брали пробы незагрязненных частицами почвы снега на поверхности почвы и на пленках, а также глубинной изморози, которая была обнаружена под всеми пленками.

Опыты были заложены на 4-х точках, характеризующих разные типы почв Барабинской равнины: солончак луговой (точка 1), лугово-черноземная почва (точка 2), солонец средний (точка 3) и солодь (точка 4).

Также в начале и в конце зимы отбирали образцы почв на определение влажности.

Результаты лабораторного анализа взятых образцов представлены в таблицах 1 и 2.

Данные таблиц позволяют сделать следующие выводы по каждому типу исследуемых почв, по глубинной изморози и по снегу.

Для солончака:

1. Подтягивание ионов солей HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , частично Mg^{2+} в слой 0–20 см на контроле к концу зимы.
2. Уменьшение концентраций Cl^- , Ca^{2+} на контроле.
3. Увеличение содержания всех ионов под пленкой в слое 20–30 см, HCO_3^- , Ca^{2+} в слое 30–40 см, при уменьшении прочих.
4. Значение влажности (% вес) выше в начале зимы в слое 0–30 см, на контроле (кроме слоя 30–40 см) и под пленкой ниже в конце зимы.

Таблица 1. Изменение химического состава нижнего слоя снега на разных типах почв Барабы в течение зимы и изморози под пленками в конце зимы 2005/06, мг/дм³

Точка 1 (солончак луговой)							
	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
Начало зимы	6,81	15,86	3,19	8,16	3,4	0,97	7,82
Конец зимы, контроль	6,73	19,52	2,84	12,48	2	2,31	8,51
Конец зимы, пленка	5,93	14,64	4,61	12,96	2,2	1,09	10,12
Глубинная изморозь	8,53	610	292	142	6	7,8	466
Точка 2 (лугово-черноземная)							
	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
Начало зимы	5,32	4,88	3,19	5,28	2	0,12	3,91
Конец зимы, контроль	5,15	4,88	1,77	8,64	1	0,12	5,75
Конец зимы, пленка	4,85	4,88	2,13	0,96	0,8	нет	2,76
Точка 3 (солонец средний)							
	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
Начало зимы	6,64	12,81	2,13	11,04	3	0,85	6,44
Конец зимы, контроль	6,38	18,3	2,84	14,4	3,2	0,49	11,04
Конец зимы, пленка	6,16	13,42	2,84	2,4	2,2	0,24	5,06
Глубинная изморозь	6,24	39	2,84	нет	6,6	1,6	6
Точка 4 (солодь)							
	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
Начало зимы	6,12	9,76	3,19	9,12	1,4	0,49	7,6
Конец зимы, контроль	5,15	4,88	1,77	8,64	1	0,12	5,75
Конец зимы, пленка	6,2	9,76	2,13	2,88	1,8	0,12	3
Глубинная изморозь	6,84	30,5	2,84	3,84	3,8	2,2	6,7

Для лугово-черноземной почвы:

1. Уменьшение концентраций ионов всех солей на контроле к концу зимы. Еще больше заметно это под пленкой во всех слоях 0–40 см.
2. Влажность в начале зимы низкая, равномерная в слое 0–30 см (10,6–12,8). К концу зимы увеличение – особенно в поверхностном слое 0–10 см (18,2). То же в почве под пленкой.

Таблица 2. Изменение химического состава верхних горизонтов почв Барабы в течение зимы 2005/06 по данным водных вытяжек, ммоль/100 г почвы

Солончак луговой, начало зимы							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	4,60	6,00	5,99	1,40	0,40	14,79	29,83
10–20	4,25	4,10	6,50	0,80	0,35	13,70	
20–30	5,00	2,40	4,96	0,60	0,30	11,46	34,38
30–40	3,00	3,20	5,99	0,80	0,45	10,94	22,48
Солончак луговой, конец зимы, контроль							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	7,50	3,00	6,85	0,80	0,50	16,05	25,14
10–20	4,50	3,50	8,56	0,80	0,40	15,36	21,22
20–30	3,50	2,46	2,31	0,60	0,40	7,27	23,8
30–40	5,00	2,74	3,77	0,60	0,60	10,31	26,41
Солончак луговой, конец зимы, пленка							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	6,75	3,60	5,05	0,40	0,10	14,90	28,54
10–20	5,90	4,40	6,08	0,40	0,20	15,78	20,45
20–30	7,00	5,30	5,14	1,70	0,60	15,14	17,8
30–40	4,50	2,20	3,77	1,50	0,50	8,47	15,22
Лугово-черноземная, начало зимы							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	1,25	0,16	0,86	0,30	0,10	1,87	10,8
10–20	1,25	1,20	0,68	0,50	0,20	2,43	10,63
20–30	1,25	4,80	1,71	1,30	1,70	4,76	12,66
30–40	2,00	6,20	2,66	1,50	2,00	7,36	
Лугово-черноземная, конец зимы, контроль							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	1,10	0,12	0,09	0,30	0,20	0,81	18,15
10–20	1,50	0,30	0,68	0,34	0,25	1,89	15,36
20–30	1,60	0,84	0,94	0,44	0,40	2,54	12,98
30–40	1,35	1,50	0,77	0,60	0,20	2,82	
Лугово-черноземная, конец зимы, пленка							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	0,80	0,20	0,51	0,20	0,20	1,11	17,87
10–20	0,75	0,10	0,68	0,20	0,10	1,23	13,61
20–30	1,15	0,10	0,60	0,20	0,10	1,55	13,35
30–40	2,15	0,50	0,86	0,40	0,20	2,91	
Солонец средний, начало зимы							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	1,75	0,30	0,60	0,30	0,10	2,25	22,48
10–20	1,75	0,18	0,77	0,20	0,10	2,40	15,64
20–30	2,50	0,40	1,29	0,30	0,10	3,79	14,71
30–40	2,75	0,46	3,34	0,40	0,15	6,00	

Солонец средний, конец зимы, контроль							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	2,20	0,10	0,99	0,20	0,10	2,99	18,03
10–20	1,35	0,20	0,68	0,20	0,10	1,93	15,34
20–30	2,30	0,10	1,20	0,10	0,10	3,40	14,64
30–40	2,80	0,20	1,11	0,20	0,10	3,81	
Солонец средний, конец зимы, пленка							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	1,30	0,16	0,60	0,30	0,20	1,56	21,03
10–20	2,10	0,24	1,20	0,24	0,30	3,00	18,94
20–30	3,75	0,44	1,89	0,30	0,20	5,58	16,82
30–40	4,10	0,50	2,82	0,50	0,20	6,72	
Солодь, начало зимы							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	1,00	0,08	0,51	0,20	0,10	1,29	13,66
20–30	1,75	0,08	0,77	0,20	0,10	2,30	10,8
30–40	1,00	0,10	0,51	0,20	0,10	1,31	
Солодь, конец зимы, контроль							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	1,10	0,06	0,51	0,10	0,06	1,51	13,14
10–20	0,60	0,08	0,51	0,10	0,07	1,02	10,10
20–30	0,75	0,06	0,51	0,10	0,07	1,15	11,16
30–40	0,60	0,06	1,29	0,10	0,07	1,78	
Солодь, конец зимы, пленка							
Интервал	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Влажность
0–10	1,00	0,12	0,60	0,22	0,10	1,40	18,24
10–20	0,35	0,08	0,60	0,08	0,06	0,89	15,22
20–30	1,00	0,08	0,86	0,08	0,06	1,80	10,28
30–40	0,50	0,08	0,94	0,08	0,06	1,38	

Для солонца:

1. Подтягивание ионов солей HCO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, в слой 0–10 см на контроле в конце зимы.
2. Уменьшение концентраций Cl⁻, Ca²⁺ на контроле к концу зимы.
3. Увеличение содержания всех ионов под пленкой в слое 10–40 см (кроме SO₄²⁻ в слое 30–40 см).
4. Значение влажности в слое 0–10 см выше в начале зимы. В слоях 10–20 и 20–30 см под пленкой выше, чем в начале зимы и на контроле; на контроле ниже, чем в начале зимы.

Для солоди:

1. К концу зимы отмечается в основном уменьшение концентрации всех ионов солей, кроме SO₄²⁻ и Na⁺ в слое 30–40 см.
2. Резкое изменение влажности в слое 0–10 см к концу зимы на контроле и под пленкой. На контроле очень малое содержание влаги.

Для глубинной изморози:

1. Под всеми двойными полиэтиленовыми пленками на разных типах почв отмечена глубинная изморозь к концу зимы.
2. По химическому составу на незасоленных почвах она имеет смешанный катионный состав с преобладанием натрия, общей минерализацией до 60 мг/дм^3 , слабокислой и близкой к нейтральной реакцией.
3. На солончаке минерализация глубинной изморози превышает $1,5 \text{ г/дм}^3$, по химическому составу она хлоридно-содовая, со значением pH 8,53.
4. Химический состав глубинной изморози обусловлен не только и не столько солями, выносимыми диффузным потоком, сколько накопившимися на поверхности почвы.

Для снега:

1. Химический состав и минерализация снеговой воды на разных типах почв существенно отличен даже в начальный период зимы (середина декабря). Это связано, по-видимому, с двумя причинами: эоловым (метелевым) переносом местных солей и поступлением их диффузным путем (глубинная изморозь) из еще не промерзших почв.
2. Содержание ионов солей в снеговой воде в нижнем слое снега к концу зимы на контроле выше, чем в начальный период зимы. Четко это прослеживается для ионов натрия и сульфат-ионов, менее заметно для гидрокарбонат-ионов. Содержание ионов кальция и магния уменьшается, что возможно связано с выпадением карбонат-ионов на поверхность земли при перекристаллизации снега. То же в основном относится и к хлорид-ионам.
3. Снеговая вода, изолированная от поверхности почвы имеет более низкую минерализацию и концентрацию ионов SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , чем на контроле, что подтверждает диффузный солеперенос. Менее понятно, что эти значения ниже даже по сравнению с начальным периодом зимы. Вероятно, играет роль дальнейшая возгонка солей, поскольку визуально содержание воды в снеге на контроле выше, чем на изолированной поверхности, что дополнительно свидетельствует о диффузном поступлении влаги даже из мерзлого слоя почвы.
4. Значение pH к концу зимы во всех случаях всегда ниже, чем в начальный период. Причем на изолированной поверхности pH также ниже, чем на контроле.
5. Изменение химического состава снега во всех случаях идет по содовому типу.

Общие результаты исследований позволили сделать заключение, что процессы переноса солей не затухают и в зимний период, и даже через мерзлый слой происходит их поступление в снег. Главным механизмом такого солепереноса следует считать диффузный вынос солей с глубинной изморозью под воздействием термо- и концентрационного градиентов.

Этот механизм следует назвать зимним выпотным режимом почв.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казанцев В.А. Вынос солей из почв в снег // Мелиорация земель Сибири. – Красноярск, 1984. – С. 151–155.
2. Казанцев В.А. Проблемы педогалогенеза: на примере Барабинской равнины. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 280 с.
3. Панин П.С., Казанцев В.А. Процессы солепереноса в криогенных почвах // Успехи почвоведения. Советские почвоведы к XIII Международному конгрессу почвоведов. – М.: Наука, 1986. – С. 245–250.

© *Е.В. Половников, П.А. Крафт, М.П. Тельбух,
И.Н. Белоус, В.А. Казанцев, 2008*

УДК 556; 574: 338; 631. 413.3

В.А. Казанцев, А.Г. Гриценко, Ю.В. Дементьев
СГГА, Новосибирск

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

V.A. Kazantsev, A.G. Gritsenko, Yu.V. Dementyev
SSGA, Novosibirsk

PROBLEMS AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF GEOECOLOGY TEACHING

The article deals with the problems and methods of teaching geoecology under the current conditions: the third wave of science and education development (information wave). Five principles of teaching geoecological disciplines are offered: development of ecological thinking; neutral presenting of the latest achievements of science; organizing discussions-seminars; being aware of all the achievements of allied sciences; developing students' ecological consciences.

Исключительно бурное развитие науки в ХХІ в. предполагает полную переоценку научных данных, зачастую со знаком «до наоборот». Американский философ и социолог Э. Тоффлер считает, что развитие науки и образования осуществляется волнами, которых он насчитывает три [цит. по 1]. Первая волна – аграрная цивилизация (тысячелетия ~ до ХІV в. н. э.), вторая – индустриальная (ХІV – ХХ вв.), третья сверхиндустриальная, или информационная (с ХХІ в.).

На первых двух волнах наряду с общемировоззренческими вопросами первостепенное внимание уделялось практическим аспектам землепользования, развитию и усовершенствованию технических средств обслуживания общества в экономическом, социальном, культурном, общеобразовательном отношении. Фундаментальные науки и, прежде всего, физика, химия, биология положили начало современному «развитию» нашей цивилизации. Слово «развитие» берем в кавычки именно потому, что, к сожалению, идет разрушение природной среды, а никак не развитие и тем более «устойчивое развитие», пропагандируемое во всех сферах нашей деятельности. Да оно просто невозможно в условиях техногенной цивилизации.

Третья волна связана не только с компьютеризацией науки и образования, развития ГИС-технологий, усовершенствования методов моделирования природных процессов, но и с новым представлением о нашем сознании.

До недавнего времени человеческое сознание рассматривалось с двух сторон – гносеологической («субъект – объект») и эпистемологической («объект – знание»). Несколько особенно стоит онтология – учение о бытии как таковом. С физической стороны сущность сознания не рассматривалась. Между

тем, как оказалось, оно может воздействовать на вещественный мир не только опосредованно – через органы чувств и мышечные усилия, но и прямым образом (эффект Н.С. Кулагиной, зарегистрированной пятью научными институтами и др.). Развитие науки на третьей волне привело к представлению, что природа всего сущего определяется не веществом, или иной субстанцией любого рода, а информацией [2]. Определяет ее, по мнению большинства исследователей, Вселенское Сознание, Абсолют, Бог («вначале было Слово, и Слово было у Бога, и Слово было Бог») [3]. Человеческое коллективное и индивидуальное сознание является частью общемирового, наподобие островов в океане, соединенных на дне воедино. При этом индивидуальность характеризуется неполнотой, отсюда все наши человеческие ошибки, включая экологические аспекты, природопользование, научные достижения и др. Следовательно, в своих высказываниях, рекомендациях по оптимизации хозяйственной деятельности, сохранению естественного состояния среды надо действовать весьма осмотрительно. Ведь практически все научные парадигмы подвергаются не только уточнению, но и переоценке. Такова, например, классическая физика Галилея – Ньютона, мировоззрение Дарвина и др. Перед тем как коснуться вопросов экологического образования, необходимо обратить внимание на экологическое мышление и сознание как первичные основы научных знаний. А для этого следует выделить внутренние свойства нашего сознания как такового. Некоторые основные особенности обозначим ниже:

1. Свобода воли мышления и последующих поступков.
2. Неточная оценка собственных возможностей интеллекта и научной эрудиции, чаще всего преувеличение («гордыня»)
3. Неполнота рассмотрения проблем. Недоучет одних возможностей, переоценка других.
4. Консервативность, догматичность научных взглядов, высокая их инерционность, отторжение новых научных достижений.
5. Научное озарение (интуиция, вдохновение).

Все это хорошо известно, но редко принимается во внимание, поэтому часто не учимся не только на чужих, но и на своих ошибках, постоянно наступаем на те же «грабли».

По первому пункту казалось бы все хорошо. Свобода воли инициирует творческий поиск, способствует развитию науки. Но это лишь в том случае, когда мы на правильном пути. Ошибочные представления, внедренные в качестве очевидной истины, долго невозможно изжить (преувеличение роли естественного отбора, абсолютное ненаследование приобретенных признаков в биологии, отрицание эфира в физике и др.). Борьба с этим практически невозможно, все зависит от честности, научной компетенции, глубины проработки конкретного исследователя и других его личных качеств. Второй аспект может быть подвержен корректировке при постоянном самоконтроле над собой и своими поступками. Неполнота рассмотрения проблем зависит от ограниченности наших знаний. Отсюда исчерпывающий ответ на вопрос не может включать всех альтернативных точек зрения, принимая во внимание

нелинейность природных процессов. Здесь может помочь только опосредованный длительный опыт. Консервативность, догматичность и высокая инерционность научных взглядов вытекает из предыдущих свойств нашего сознания, а также от начальных мировоззренческих установок. Отсюда вытекает необъективность в оценке новых парадигм, направлений, их отторжение, преобладание «критиканства» над объективной критикой.

Особенно отрицательно все изложенное сказывается на научных исследованиях, преподавательской деятельности, мировоззренческих установках, обусловленных нашим воспитанием, идеологической пропагандой с детских лет и последующего образования. При этом люди искренне верят, что свои взгляды на разные вопросы сформировали сами. Главнейшей идеологической основой является государственный атеизм, ядро материалистических взглядов. Доводы, подвергающие эту систему взглядов, сомнению (первичность материи над сознанием) отторгаются без обсуждения. Парапсихологические явления, благодатный огонь, мироточение, левитация, медитация и др. не изучаются представителями атеистического мировоззрения, хотя единственный путь опровержения опыт, эксперимент. Кроме того, существуют люди, которые просто не хотят чтобы «так было». Принцип – «этого не может быть, потому что этого не может быть никогда» (А.П. Чехов «Письмо к ученому соседу»). Нередко используется и прямая фальсификация.

Научное озарение (интуиция, вдохновение) является высшей формой научного познания, хотя обосновать его современными логико-чувственно-эмпирическими средствами невозможно.

В свете изложенного очень трудно вести преподавание и, в частности, геоэкологических дисциплин, если коллеги в смежных областях знаний придерживаются противоположных мнений. С методической стороны, нам кажется, следует придерживаться следующих правил.

1. Воспитывать экологическое мышление в студентах, как впрочем, и в школах и даже дошкольных детских учреждениях. Оно выражается в критике антропоцентризма, бережном отношении к природе как среде обитания всего живого. Деграция природы в результате негативной деятельности грозит самому существованию человечества. С этим пунктом думаем никто не станет спорить.

2. Излагать все научные достижения, даже на первый взгляд абсурдные, в результате простой констатации фактов, не подвергая значительной критике, так как можно в итоге попасть впросак, как это было с критикой генетики, кибернетики, квантовой механики и др. Сейчас возможно по этому пути следуют борцы с лженаукой, отвергая исследование торсионных полей. Разобрав все возможные альтернативные взгляды, следует дать свою интерпретацию, обосновав ее, но с обязательной оговоркой, что при дальнейших исследованиях она может быть подвержена корректировке, или даже отвергнута.

3. Организовывать семинары по дискуссионным темам для расширения эрудиции, способности к логическим умозаключениям, обоснованию

критических заключений. Можно предложить такие, например, темы курсовых работ (применительно к геоэкологии и смежным дисциплинам):

- 3.1. Происхождение жизни в свете современных научных взглядов.
- 3.2. Эволюция не по Дарвину.
- 3.3. Память воды.
- 3.4. Эволюционизм и креационизм. За и против.
- 3.5. Голографическая Вселенная.
- 3.6. Нелокальность в природе.
- 3.7. Что такое наше Сознание.
- 3.8. Формирование экологического мышления и сознания.
- 3.9. Абсолютность и относительность.
- 3.10. Основные экологические законы.
- 3.11. Оценка новых предложенных законов: закон невозможности биогенеза и закон сложности, не поддающейся снижению.
- 3.12. Можно ли избежать экологической катастрофы?
4. Необходимо следить за научными достижениями на «стыке» наук и представлять все оперативные точки зрения по излагаемому вопросу, корректно отмечая неясные детали и пути их решения.
5. Формировать у студентов экологическое сознание. Думаем, что одной из главных дисциплин для студентов-геоэкологов должна быть «экологическая культура».

Только при соблюдении перечисленных условий (с возможным дополнением) можно привести преподавание геоэкологических дисциплин на более высокий, соответствующий современному миропониманию, уровень.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дульнев Г.Н. В поисках нового мира. Психокинез, телепатия, телекинез: факты и научные эксперименты / Г.Н. Дульнев. – с.-п.: Изд-во «Весь», 2004. – 287 с.
2. Дарлинг Д. Телепортация. Открытия, которые потрясли мир / Д. Дарлинг. Пер. с англ. – М.: Изд-во Эксмо, 2008. – 297 с.
3. Библия. Книги священного писания Ветхого и Нового завета. Евангелие от Иоанна. Святое благовествование.1.1. – М.: Библейские общества, 1993. – 1376 с.

© В.А. Казанцев, А.Г. Гриценко, Ю.В. Дементьев, 2008

УДК 551.58; 502(571.14)

Л.В. Воронина, Н.Ю. Пичугина

СГГА, Новосибирск

ЭКСТРЕМАЛЬНОСТЬ КЛИМАТА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

L.V. Voronina, N.Yu. Pitchugina

SSGA, Novosibirsk

EXTREME CLIMATE CONDITIONS OF NOVOSIBIRSK REGION AND THEIR ECOLOGICAL EFFECT ON NATURE COMPLEXES

Novosibirsk region is situated in the heart of the largest continent Eurasia and is known for its sharp climate-indicators variations. More typical are positive temperature deviations in winter months, which testify to the warming process. The research of the extreme changes in climate and weather in different zones of the region allowed to determine ecologically favourable conditions for human life.

Географическое положение Новосибирской области в глубине материка определяет ту специфику климата, которая выражается в экстремальности отдельных её показателей. Экстремальность климатических показателей с нашей точки зрения – это резкое отклонение от среднепогодных значений. Подобные явления могут быть многообразными. Это и понижения либо повышения температур воздуха в отдельные периоды зимнего сезона, и весьма раннее наступление весны, либо весьма жаркие и сухие периоды летом. За показатели экстремальности можно принять отклонения средних температур воздуха, сумм осадков, сумм отрицательных и положительных температур выше и ниже любых пределов, дат наступления климатических фаз любого сезона года, и т. д.

Из всех перечисленных показателей остановимся на двух наиболее характерных и приемлемых не только для оценки экстремальности климата, но и для рассмотрения их экологического воздействия на компоненты природной среды: на температуре воздуха и осадках.

Для анализа мы выбрали два достаточно типичных по метеорежиму года: 2003 и 2004. Однако, и здесь, при близком рассмотрении, отклонения от среднепогодных значений отражают экстремальность климата.

Например, 2003 год характеризовался высокими перепадами продолжительности солнечного сияния: от 64.3 часов в декабре до 332.3 часов в августе, среднегодовых температур воздуха – от 1.2 до 2.2° С; относительной влажности воздуха – от 56 до 86 % и сумм осадков – от 2.3 мм в марте до 148.8 мм в июле. Показательно, что и число часов солнечного сияния в сумме за год было достаточно высоким: 2 245.6

В итоге следует отметить, что в 2003 году прослеживается существенная экстремальность климатических показателей, что достаточно наглядно подтверждают показатели отклонений средних месячных температур воздуха от среднемноголетних значений (табл. 1).

Таблица 1. Отклонение от нормы средней месячной температуры воздуха, °С за 2003 г.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср. год.
Подтайга, Левобережье	4.3	1.9	1.6	-0.4	3.7	2.0	-0.9	3.3	1.0	1.9	-2.2	6.0	1.85
	4.1	2.4	1.3	-0.2	4.1	2.7	-1.1	3.2	1.0	2.3	-1.5	5.5	1.98
Северная лесостепь, Левобережье	3.9	2.1	2.1	0.7	4.2	2.6	-0.7	2.4	1.0	2.2	-1.8	5.1	1.98
Южная лесостепь, Левобережье	4.1	2.3	1.7	0.8	4.3	1.9	-1.1	3.0	1.1	2.0	-1.7	5.3	1.97
	3.8	2.3	1.9	0.9	3.9	2.9	-0.8	1.5	0.7	1.5	-1.5	5.3	1.86
Южная лесостепь, Правобережье	4.0	3.0	1.6	-0.3	3.3	3.4	-0.2	2.3	1.4	0.7	-0.9	5.6	1.84
Северная лесостепь, Правобережье	4.0	2.8	1.3	-0.7	3.4	3.5	-0.7	1.7	1.1	1.1	-0.6	5.2	1.99
Горная тайга, Правобережье	3.6	3.5	1.8	-0.4	2.8	2.7	-0.9	1.5	1.6	0.8	-0.4	5.4	1.83
Колочная степь, Левобережье	3.7	2.4	1.7	0.3	3.6	1.8	-0.8	2.5	1.8	1.7	-1.5	5.0	1.85
Типичная степь, Левобережье	4.0	2.6	1.2	-0.5	3.5	2.4	-0.6	2.9	1.3	1.2	-1.1	5.0	1.82

Характерным является стабильное превышение температур за весь холодный период – с января по март включительно, причем теплой зима 2003 года оказалась на всей территории Новосибирской области, во всех природных комплексах – от подтаёжной подзоны до колочной и типичной степи. Выразилась она в превышении над среднемноголетними температурами в 1–2 °С в марте и в 3.8–4.3 °С в январе.

2004 г. по метеорежиму несколько отличался от 2003: продолжительность солнечного сияния колебалась в пределах от 43.0 часов в декабре до 303.5 часов

в мае при годовой сумме – 2048.1, среднегодовые температуры воздуха – от 0.64 °С в подтаёжной зоне до 2.47 °С в типичной степи, относительная влажность воздуха – от 49 % в мае до 89 % в ноябре, суммы осадков варьировали в пределах от 6.7 мм в январе в типичной степи до 103.5 мм в Правобережье в июле.

Отклонение от среднемноголетних и в данном случае наглядно отражают экстремальные значения погоды в любой из сезонов года (табл. 2).

Наиболее теплым отмечен зимний сезон в 2003-2004 годах – с декабря 2003 по февраль 2004 гг. За этот период изменения температуры в декабре 2003 года колебались в пределах от 4° до 7°С, а в феврале 2004г. – в пределах от 5 до 6 °С. Причем декабрь был стабильно теплым во всех природных комплексах области и градиенты были очень высоким – на 5–6 °С температура держалась выше среднемноголетней.

Таблица 2. Отклонение от нормы средней месячной температуры воздуха, °С, 2004г

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII I	IX	X	XI	XII	Ср. год.
Подтайга, Левобережье	1.5	4.8	-0.5	-2.5	5.6	2.4	0.1	-0.1	-1.0	2.0	5.5	-3.1	1.225
	1.3	5.4	-0.5	-1.8	5.6	2.3	0.0	0.0	-0.3	2.6	5.8	-2.9	1.458
Северная лесостепь, Левобережье	0.5	5.4	0.9	0.0	5.8	2.3	-0.1	-0.4	-0.1	3.4	5.7	-1.7	1.808
Южная лесостепь, Левобережье	0.8	5.6	1.2	-0.4	5.7	2.4	0.2	-0.3	-0.4	3.3	5.3	-1.5	1.825
	0.1	5.8	0.9	0.3	5.5	1.8	-0.7	-0.5	-0.3	3.5	6.0	-1.3	1.758
Южная лесостепь, Правобережье	-1.3	6.6	1.1	0.3	5.2	2.0	-0.4	0.2	0.2	3.8	6.4	0.0	1.958
Северная лесостепь, Правобережье	-0.1	6.2	0.4	-0.4	5.5	2.3	-0.7	0.0	0.4	3.5	6.6	-0.7	1.908
Горная тайга, Правобережье	-1.3	7.0	1.4	0.7	4.9	2.2	-0.2	-0.2	0.5	3.6	6.0	0.2	2.067
Колочная степь, Правобережье	0.2	6.3	1.6	0.5	5.2	2.2	-0.1	-0.1	0.1	3.4	5.3	-0.8	1.983
Типичная степь, Правобережье	0.5	6.5	1.1	0.0	5.3	2.2	-0.1	0.3	0.1	3.3	5.9	-0.1	2.083

Экстремально теплый февраль в 2004 г. характеризовался не одинаковыми значениями изменения температуры во всех природных комплексах области, как в декабре 2003 г, а положительным, но плавным нарастанием тепла от северных подзон к южным, т.е. если на севере подтаёжной зоны февраль 2004 г. был теплее нормы на 4.8 °С, в северной лесостепи – на 5.4 °С, в южной – на 5.6 °С, то уже на крайнем юге области – на 6.3–6.5 °С, а в Правобережье температуры февраля превышали среднемноголетние значения на 6.6–7.0 °С.

Интересно отметить некоторую закономерность и в температурном режиме мая – июня 2003 и 2004г, когда тепловые характеристики были достаточно экстремальными и значительно теплее среднегодовых значений.

Анализ осадков показывает следующие закономерности: если зимние месяцы обеих лет были не только теплыми, но и сухими, то весенние (в частности апрель) – характеризовались повышенной увлажненностью. Выпадение осадков и отклонение их от нормы носит локальный характер, и в данном случае, проявляется разнохарактерностью в различных природных комплексах. Например, экстремальность в сторону повышенного увлажнения проявляется в центральной части Барабы – в лесостепных ландшафтах – до 110–140 % отклонение от нормы в 2003 г. и всего до 102–103 % – в 2004 г.

Таблица 3. Отклонение от нормы месячного количества осадков, %, 2003 г.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Подтайга, Левобережье	139.3	85.4	72.1	28.7	43.2	27.1	86.0	13.5	36.2	67.1	150.4	127.1	876.1
	100.0	93.6	44.7	55.0	48.2	70.2	104.8	20.5	98.8	44.2	83.0	83.6	846.6
Северная лесостепь, Левобережье	55.0	109.3	48.7	107.6	50.6	15.2	144.7	44.1	40.0	92.6	102.3	103.3	913.4
Южная лесостепь, Левобережье	87.3	129.1	37.1	49.5	22.3	78.3	209.6	124.6	72.3	35.7	116.0	142.1	1103.9
	80.5	102.9	53.8	70.5	56.2	78.9	53.4	33.2	145.0	60.0	94.5	83.2	912.1
Южная лесостепь, Правобережье	137.9	117.1	124.0	119.2	65.6	47.4	79.0	7.3	72.3	66.3	124.4	91.7	1052.2
Северная лесостепь, Правобережье	115.2	75.0	141.2	93.3	77.4	51.7	157.3	13.7	98.2	60.8	99.4	87.2	1070.4
Горная тайга, Правобережье	122.1	120.7	101.2	117.9	89.5	61.2	66.7	9.4	111.9	51.2	125.6	91.7	1069.1
Колочная степь, Правобережье	79.1	133.8	25.6	105.0	117.5	59.2	98.5	57.0	47.9	62.9	94.4	139.2	1020.1
Типичная степь, Правобережье	65.8	133.1	57.9	103.2	129.3	71.5	58.4	47.7	126.6	68.3	73.3	103.3	1038.4

В целом, экстремальность увлажнения в 2004 г. проявилась в значительном недостатке осадков– до 20–15 % от нормы. Поэтому 2004 г. можно характеризовать как экстремально сухой (табл. 4).

Таблица 4. Отклонение от нормы месячного количества осадков, %, 2004 г.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Подтайга, Левобережье	2.1	18.3	24.6	6.6	-27.3	7.9	-40.6	-27.3	10.8	12.7	-0.7	2.8	-10.1
	-2.1	0.5	22.7	-0.5	3.8	44.1	-28.5	35.4	-6.5	15.1	-1.4	4.2	86.8
Северная лесостепь, Левобережье	-4.9	1.6	22.9	8.2	10.3	4.9	-39.3	31.3	6.6	-1.6	-4.1	14.8	50.7
Южная лесостепь, Левобережье	-2.8	7.8	22.1	4.5	5.0	-6.6	13.4	36.1	8.8	20.6	-3.9	7.9	112.9
	-14.9	10.6	13.4	28.9	-13.7	25.1	32.4	-20.3	0.9	14.0	-11.8	9.9	74.5
Южная лесостепь, Правобережье	-10.3	21.4	26.9	19.0	-9.9	-27.3	31.5	-9.1	12.7	2.4	1.1	26.4	84.8
Северная лесостепь, Правобережье	-15.1	13.4	18.7	15.2	-19.8	24.7	2.0	-16.4	34.4	-7.0	-10.6	17.0	56.5
Горная тайга, Правобережье	-10.8	27.4	38.4	39.1	-14.1	-20.1	21.3	11.6	5.9	-5.5	2.5	30.2	125.9
Колочная степь, Правобережье	0.2	5.4	27.4	22.9	11.2	-17.3	-46.6	68.3	-1.4	-0.2	2.4	15.5	87.8
Типичная степь, Правобережье	-12.3	9.4	8.2	6.7	-8.1	-25.8	-7.6	3.7	-3.7	-4.1	-8.2	9.2	-32.6

Дальнейшая обработка метеоданных в программе Excel за длинный ряд лет позволила выявить повторяемость температур по природным областям в градациях экстремально низких либо экстремально высоких температур.

В приведенных выше примерах наблюдалась обратная картина: экстремально теплая зима с меньшим количеством осадков и с относительно спокойное лето с более прохладным июлем.

© Л.В. Воронина, Н.Ю. Пичугина, 2008

УДК 631.427; 504.53

М.В. Якутин¹, А.И. Шепелев², Е.В. Межуев²

¹СГГА, ИПА СО РАН, Новосибирск

²СурГУ ХМАО, Сургут

БИОМАССА ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В МОНИТОРИНГЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

M.V. Yakutin¹, A.I. Shepelev², E.V. Mezhuев²

¹SSGA, ISSA SB RAS, Novosibirsk

²Surgut State University, Surgut

BIOMASS OF SOIL MICROORGANISMS AND MONITORING OF OIL POLLUTION ECOSYSTEMS AT MIDDLE TAIGA OF WESTERN SIBERIA

The main task of the article is the analysis of changes of soil microbiomass at the conditions of oil pollution and recreational press in the Middle Taiga of Western Siberia. The feasibility of this index for the purposes of ecological monitoring is substantiated.

Ханты-Мансийский автономный округ – один из крупнейших нефтедобывающих районов Тюменской области. В середине 60-х годов на территории Ханты-мансийского Автономного Округа (ХМАО) были обнаружены залегаания нефти в больших объемах, и с этих пор добыча нефти и газа является основной отраслью хозяйственной деятельности в регионе.

По мере роста объектов и коммуникаций нефтегазового комплекса, возрастало и воздействие антропогенных и техногенных факторов на природные экосистемы. Но только с начала 90-х годов начали создаваться в городах комитеты, а на предприятиях отделы по охране окружающей природной среды. Цель их создания заключается в контроле за соблюдением установленных требований по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов.

Нефтегазовый комплекс является одним из основных источников загрязнения окружающей среды и трансформации экосистем в подзоне Средней тайги. Особенно опасны утечки нефтепродуктов и технических вод при добыче или транспортировке углеводородного сырья из-за коррозии или по истечении сроков эксплуатации продуктопроводов. Лесные экосистемы в районах нефтедобычи находятся еще и под сильной рекреационной нагрузкой [1, 2].

Важнейшую роль в процессах самоочищения почв от нефти играют почвенные микроорганизмы. Именно они способствуют разрушению нефтяных загрязнений и вовлечению продуктов распада нефти в естественный биологический круговорот [3]. Легкие фракции нефти являются субстратом для

углеводородоокисляющих микроорганизмов. Более тяжелые фракции нефти не токсичны для микроорганизмов, но и активно ими не метаболизируются [4].

В практике экологического мониторинга во всем мире в последние десятилетия все большее применение находят современные методы почвенной микробиологии, поскольку комплекс почвенных микроорганизмов является тонким индикатором состояния не только почвы, но и экосистемы в целом. В частности широко применяются методы определения почвенной микробной биомассы, как важнейшего показателя состояния деструкционного звена биологического круговорота. Эти методы простые, легкие в исполнении и относительно дешевые [5].

Микробная биомасса – это запас углерода в клетках микроорганизмов. Он составляет обычно 1-4 % от общего содержания углерода в почве, но играет исключительно важную роль в превращениях всех биогенных макроэлементов в экосистеме. Но почвенные микроорганизмы не только пассивный резервуар органического углерода, а в первую очередь активнейший агент трансформации и минерализации высокомолекулярных органических соединений, поступающих в почву на разложение [6].

Цель настоящего исследования состояла в оценке применимости показателя биомассы почвенных микроорганизмов в экологическом мониторинге нефтезагрязненных экосистем и экосистем, находящихся под рекреационной нагрузкой, в подзоне Средней тайги.

Данное исследование было проведено в Ханты-Мансийском автономном округе, в подзоне Средней тайги в начале июня. К этому времени полностью оттаял верхний (0-30 см) слой почвы. Были отобраны образцы подстилок и почв (из слоев 0-10, 10-20 и 20-30 см) в окрестностях города Сургут в экосистемах, находящихся под различной по характеру и силе антропогенной нагрузкой. (В экосистеме 5 удалось отобрать только образцы почвы из слоя 0-10 см.) Повторность отбора образцов подстилок и почв 4 кратная. Основные характеристики исследованных экосистем приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики исследованных экосистем

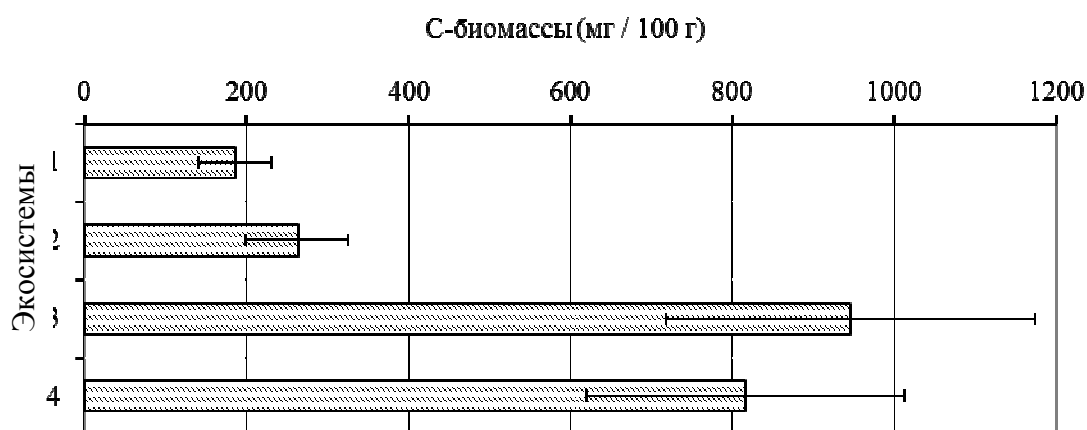
№ п.п.	Почва	Экосистема	Геоморфологическое положение	Характер антропогенного воздействия
1	Дерново-подзолистая супесчаная	Сосняк беломошный	Урочище «Барсова гора», 30 км от г. Сургут	Слабая рекреационная нагрузка
2				Сильная рекреационная нагрузка
3	Дерново-подзолистая супесчаная	Березово-сосново-кустарничково-зеленомошный лес	Вблизи трассы нефтепровода, 10 км от г. Сургут	100 м от нефтяного разлива
4				10 м от нефтяного разлива
5				Кромка участка нефтяного разлива

Экосистемы 1 и 2 находятся под рекреационной нагрузкой на протяжении многих лет. При этом сила рекреационной нагрузки остается практически неизменной. Экосистемы 3-5 расположены на геохимической катене протяженностью 100 м от загрязненной нефтью депрессии к почве, находящейся на повышении. Разлив нефти здесь произошел 5 лет назад и занял площадь около 0,5 га. При изучении подстилок образцы отбирались с поверхности почвы. Отбор и подготовка почвенных образцов для микробиологических исследований включала в себя просеивание через сито с диаметром ячеек 3 мм и отбор видимых корней. Все образцы в настоящем исследовании до проведения анализов хранились в холодильнике на протяжении 3 суток [7].

В образцах определялись следующие показатели: влажность почвы и содержание углерода в биомассе почвенных микроорганизмов (С-биомассы) кинетическим методом (СИД – субстрат индуцированное дыхание). Концентрация CO_2 определялась с помощью газового хроматографа с катарометром в качестве детектора [7]. Статистическая обработка полученных результатов проводилась методами вариационного и дисперсионного анализов [8, 9].

Влажность подстилок на участках, находящихся под рекреационной нагрузкой (экосистемы 1 и 2), в момент отбора образцов составляла от 18 до 30 %, а на участках, находящихся вблизи нефтяного разлива (экосистемы 3, 4, 5) – более 100 %. Влажность почвы под экосистемами 1 и 2 в момент отбора образцов составляла от 3 до 8 %, под экосистемами 3, 4, 5 – от 11 до 27 %.

Данные по содержанию биомассы микроорганизмов в подстилках и в почвах исследованных экосистем приведены на рис. 1, 3. Микробобиомасса на участках вблизи нефтяного загрязнения, в целом, значительно превышает таковую на участках, находящихся под рекреационной нагрузкой, (в 4 раза в подстилках и в 2-56 раз в почвах). При этом ясно прослеживается тенденция к увеличению С-биомассы в верхнем 0-10 см слое почвы при приближении к краю участка нефтяного разлива.



НСР(5 %)=729,9

Рис. 1. Содержание углерода в микробобиомассе в подстилках исследованных экосистемах (мг С-биомассы / 100 г почвы)

Влияния на С-биомассы двух исследованных факторов, связанных с антропогенным воздействием (и нефтеразлив, и рекреационная нагрузка), оказалось достоверным и сильным (рис. 4). Но при этом достоверного влияния силы рекреационной нагрузки и близости к участку нефтяного загрязнения на С-биомассы в подстилке и в почве не выявлено (рис. 2, 4).

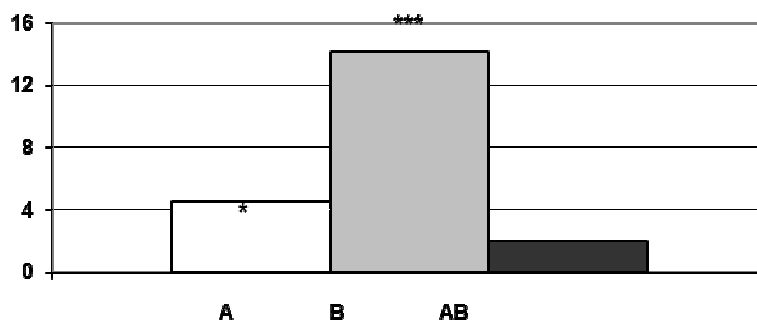
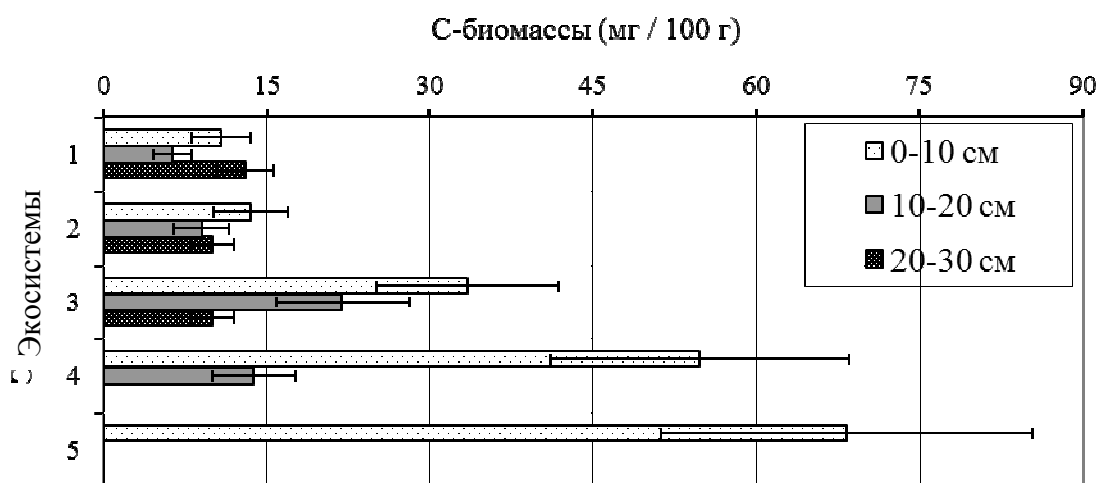


Рис. 2. Значения F критерия, для различных факторов, влияющих на С-микробιοбиомассы в подстилке (А – антропогенная нагрузка (рекреация или нефтяное загрязнение), В – интенсивность антропогенного воздействия, АВ – взаимодействие факторов; * - $p < 0,05$)

Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало возможность применение показателя биомассы почвенных микроорганизмов в экологическом мониторинге нефтезагрязненных экосистем и экосистем, находящихся под рекреационной нагрузкой, в подзоне Средней тайги. Этот показатель может в значительной степени дополнять данные, получаемые с помощью других микробиологических и химических методов в ходе экологического мониторинга нефтезагрязненных территорий [4].



НСР(5%)=14,3

Рис. 3. Содержание углерода в микробιοбиомассе в почвах исследованных экосистем (мг С-биомассы / 100 г почвы)

При увеличении концентрации нефти происходит увеличение биомассы микроорганизмов в почве и в подстилке. Т. е., масса деструкционного блока экосистемы, основой которого являются почвенные микроорганизмы, увеличивается. Это увеличение происходит, по-видимому, за счет активного размножения бактерий, утилизирующих углеводороды.

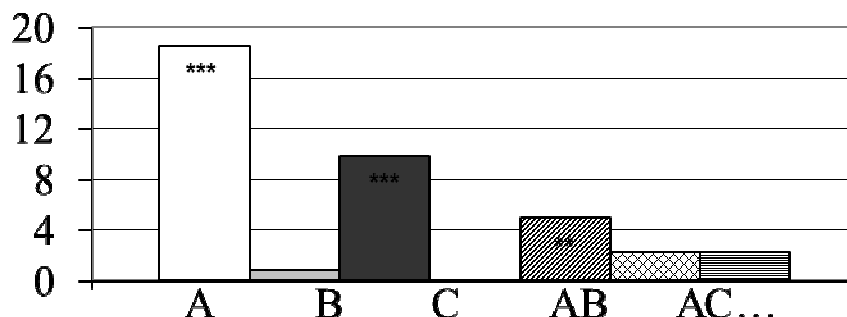


Рис. 4. Значения F критерия, для различных факторов, влияющих на C-микробιοмассу в почве (А – антропогенная нагрузка (рекреация или нефтяное загрязнение), В – интенсивность антропогенного воздействия, С – глубина по профилю почвы, АВ, АС, ВС, АВС – взаимодействие факторов; ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$)

При усилении рекреационной нагрузки биомасса почвенных микроорганизмов изменяется незначительно. Это свидетельствует о частичном изменении характера функционирования деструкционного звена биологического круговорота. Результатом этой трансформации может быть интенсификация процессов минерализации и снижение интенсивностей процессов гумификации и закрепления гумусовых кислот [10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экология Ханты-Мансийского Автономного округа / Плотников В.В. и др. – Тюмень: Софт Дизайн, 1997. – 228 с.
2. Чижов Б.Е. Лес и нефть ХМАО / Б.Е. Чижов. – Тюмень: Изд-во Ю. Мандрики, 1998. – 144 с.
3. Микробиологическое разрушение нефтяного загрязнения / М.В. Гусев, Т.В. Коронелли // Изв. АН СССР. Сер. биол. – 1981. – № 6. – С. 835–844.
4. Влияние нефти на численность, биомассу и жизнеспособность грибов в верховых торфяниках / А.В. Головченко, Л.М. Полянская // Микробиология. – 2001. – № 1. – С. 111–117.
5. Р. Тейт III Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты: Пер. с англ. / Тейт Р. – М.: Мир, 1991. – 400 с.
6. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В.Н. Кудеяров, Г.А. Заварзин, С.А. Благодатский и др. – М.: Наука, 2007. – 315 с.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 303 с.

8. Плохинский И.А. Биометрия / И.А. Плохинский. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 358 с.
9. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере / О.Д. Сорокин. – Краснообск, ГУП РПО СО РАСХН, 2004. – 162 с.
10. Особенности формирования и трансформации подстилки в лесных биогеоценозах Хибин / Г.И. Ушакова // Почвоведение. – 1999. – № 12. – С.1463–1469.

© М.В. Якутин, А.И. Шепелев, Е.В. Межуев, 2008

УДК 631.427

М.В. Якутин¹, Д.С. Дубовик²

¹ИПА СО РАН, Новосибирск

²СГГА, Новосибирск

СТРУКТУРА ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МОНИТОРИНГЕ МОЛОДЫХ ЭКОСИСТЕМ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ПОДЗОНЕ СУХИХ СТЕПЕЙ

M.V. Yakutin¹, D.S. Dubovik²

¹ISSA SB RAS, Novosibirsk

²SSGA, Novosibirsk

STRUCTURE OF STOCK OF SOIL ORGANIC MATTER IN MONITORING OF YOUNG ECOSYSTEMS FORMING IN A SUBZONE OF DRY STEPPES

The analysis of the perennial researches data from a steppe zone of Ubsu-Noor depression is carried out and tendencies of change of structure of soil organic matter's stock during development of chestnut soil is examined. There is a conclusion about capability to use some parameters of structure of soil organic matter's stock in monitoring of young ecosystems and soils in a subzone of dry steppes.

Почвообразовательный процесс можно представить, как процесс преобразования исходного субстрата почвенными микроорганизмами. Разложение опада сопровождается образованием биомассы микроорганизмов-разрушителей и ресинтезом органических веществ. Один из важнейших итогов функционирования почвенной микробной биомассы – это формирование запасов почвенного органического вещества [1].

Породы, обнаженные в результате некоторых природных процессов и техногенеза, и выступающие в качестве почвообразующего материала характеризуются малым содержанием биофильных элементов. Развитие почв на них происходит по зональному или интразональному типу, и сформировавшиеся зрелые почвы являются терминальной стадией развития эмбриоземов [2].

По мере сукцессии почвенной биоты происходит формирование гумусовых запасов молодых почв [3]. Процессы иммобилизации С и N в большой мере связаны с вовлечением этих элементов в микробную биомассу. И поэтому изучение процессов накопления биомассы и установление ее доли в общем пуле органического вещества формирующейся почвы имеет большое значение [2].

Целью настоящего исследования было изучение структуры запасов почвенного органического вещества и оценка применимости этого показателя в практике мониторинга молодых экосистем и почв, формирующихся в подзоне сухих степей. В качестве объектов исследования были выбраны три участка на

подгорной равнине Хребта Сенгилен в Убсунурской котловине (Республика Тыва) на зарастающей песчаной гряде Цугер-Элс и сухая степь на каштановой почве вблизи останца Онджалан в качестве терминальной стадии развития экосистем. Абсолютные высоты участков 1 050–1 150 м над уровнем моря. Все выбранные участки находятся под умеренной пастбищной нагрузкой: летней (Цугер-Элс) и зимней (Онджалан).

Песчаные массивы широко представлены в центре Убсунурской котловины. Для них характерны широкие и вытянутые грядово-бугристые формы рельефа. С подветренной стороны, особенно на теневых склонах и в понижениях таких песчаных массивов формируются «каштановые пески» (на слабо закрепленных участках) и каштановые и светло-каштановые почвы (на хорошо закрепленных участках). Гряда зарастающих песков Цугер-Элс имеет общую высоту около 40 м и протяженностью около 14 км с северо-запада на юго-восток [4]. Основные характеристики исследованных экосистем приведены в табл. 1.

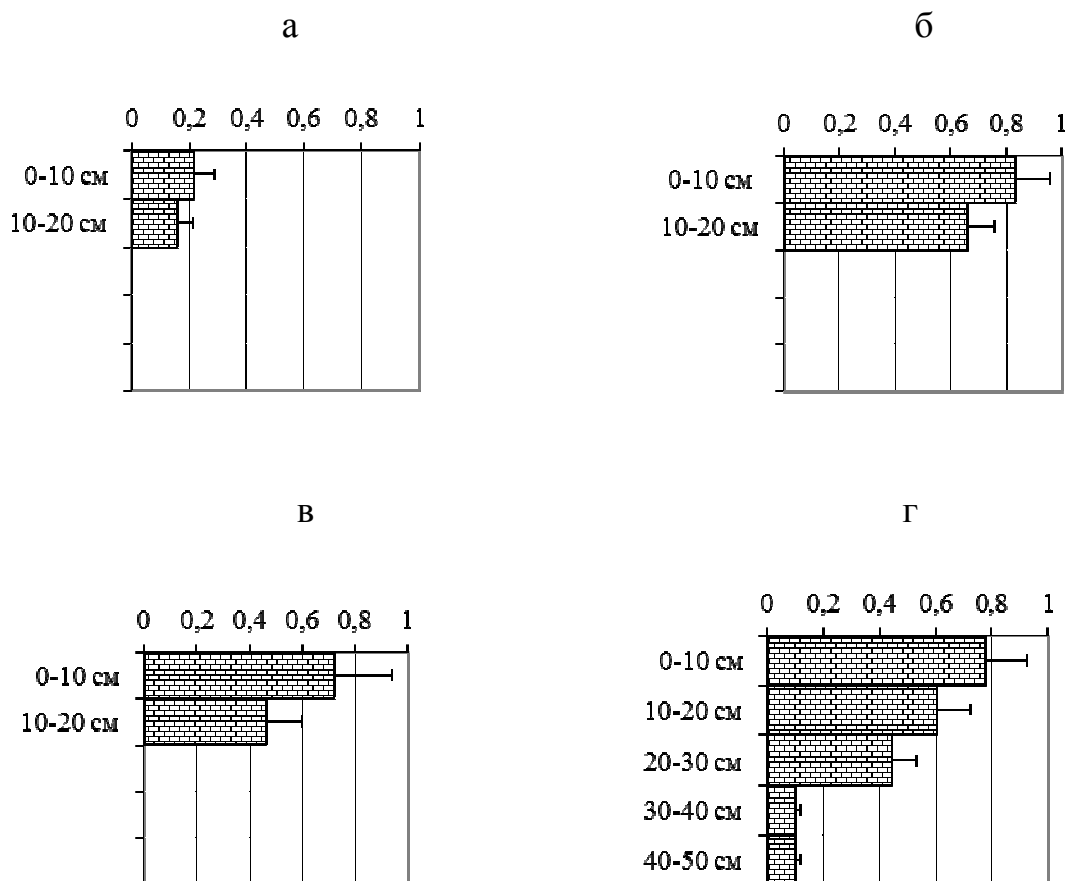
Таблица 1. Характеристика исследованных экосистем

№ п/п	Расположение	Экосистема	Почва	Проективное покрытие, (%)	Высота травостоя, (см)
1 (а)	Цугер-Элс (Эль)	Разреженное злаковоесообщество	Закрепленный песок	2	10
2 (б)	Цугер-Элс (Транс)	Разнотравно-злаково-ковыльная сильно разреженная сухая степь	Светло-каштановая маломощная песчаная	20	10
3 (в)	Цугер-Элс (Ак)	Разнотравно-злаковая сухая степь	Светло-каштановая маломощная супесчаная	30	20
4 (г)	Близостанца Онджалан	Разнотравно-полынно-злаковая сухая степь с примесью караганы	Каштановая супесчаная маломощная мелко-щебнистая	60	5-30

Образцы отбирались в июле и сентябре 1998 г., августе 1999 г., мае 2000 г. и августе 2002 г. по профилям всех исследованных почв. В почвенных образцах определялась концентрация $C_{\text{орг}}$ методом Тюрина [5], содержание углерода в биомассе почвенных микроорганизмов (С-биомассы) методом фумигации-инкубации [6], величина активной биомассы микроорганизмов [7]. Величина биомассы не характеризует прямо активность комплекса почвенных микроорганизмов, так как большая часть этого комплекса находится в неактивном состоянии и лишь от 11 до 46% почвенных микроорганизмов активны [8]. Именно эта активная часть микробобиомассы является деятельным агентом всех почвенно-биологических процессов. Для оценки структуры запасов почвенного органического вещества рассчитывалась доля С-биомассы в

$C_{орг}$ и доля активной биомассы в общем запасе С-биомассы. Статистическая обработка результатов проводилась методами вариационного и дисперсионного анализов [9].

Закрепленный песок, являющийся инициальной стадией развития каштановой почвы, характеризовался минимальными запасами $C_{орг}$ (0,16-0,22 %) (рис. 1 а). Но уже следующей стадии развития каштановой почвы (транзитная позиция катены Цугер-Элс) в светло-каштановой маломощной песчаной почве запас $C_{орг}$ увеличивался в 4 раза и в процессе дальнейшего развития каштановой почвы практически не изменялся (рис. 1 б-г).



НСР(5 %) = 0,10

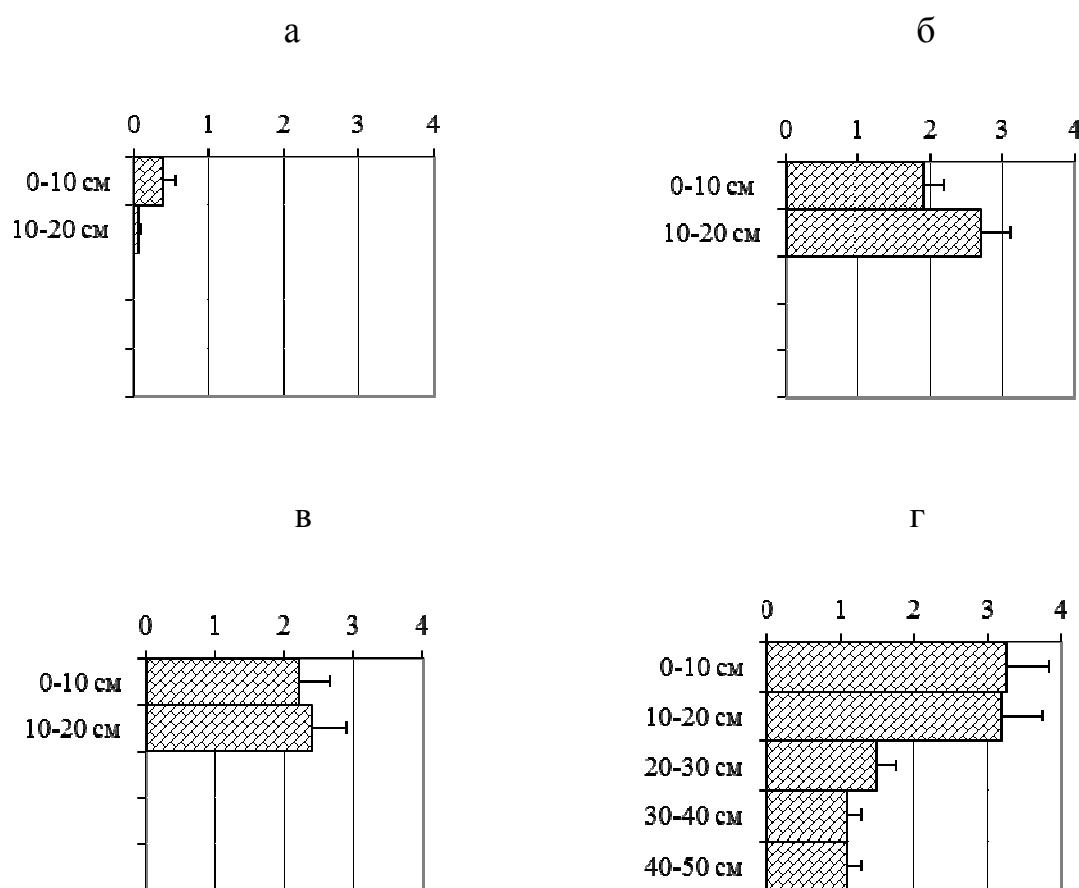
Рис. 1. Содержание $C_{орг}$ (%) в профиляхразновозрастных почв, формирующихся в подзоне сухих степей

В процессе развития каштановой почвы при переходе от закрепленного песка к светло-каштановой маломощной песчаной почве выявлено сильное влияние комплекса факторов, определяемых возрастом почвы ($F = 692$), сроком отбора образцов ($F = 55$) и глубиной по профилю ($F = 28$). На следующих стадиях развития каштановой почвы отмечается высокая степень влияния на $C_{орг}$ только комплекса факторов, определяемых глубиной по профилю почвы ($F = 16-18$).

Микробная биомасса – активная часть почвенного органического вещества – постепенно увеличивается по мере развития каштановой почвы. Также постепенно происходит и увеличение доли С-биомассы в $C_{орг}$ от 0,4 % в закрепленном песке до 3,3 % в каштановой супесчаной маломощной мелко-щебнистой почве (рис. 2).

Сильное влияние комплекса факторов, определяемых возрастом почвы, на долю С-биомассы в $C_{орг}$ выявлено только на первой стадии развития каштановой почвы ($F=31$). Влияние комплекса факторов, определяемых сроком отбора образцов и глубиной по профилю почвы, на данный показатель оказалось не значимым.

Минимальные значения величины активной биомассы были отмечены в закрепленном песке. Содержание активной микроббиомассы в развивающихся молодых каштановых почвах варьировало от 0,9 до 5,6 мг С-биомассы на 100 г почвы и в основном определялось возрастом молодой почвы.



НСР(5%)=0,7

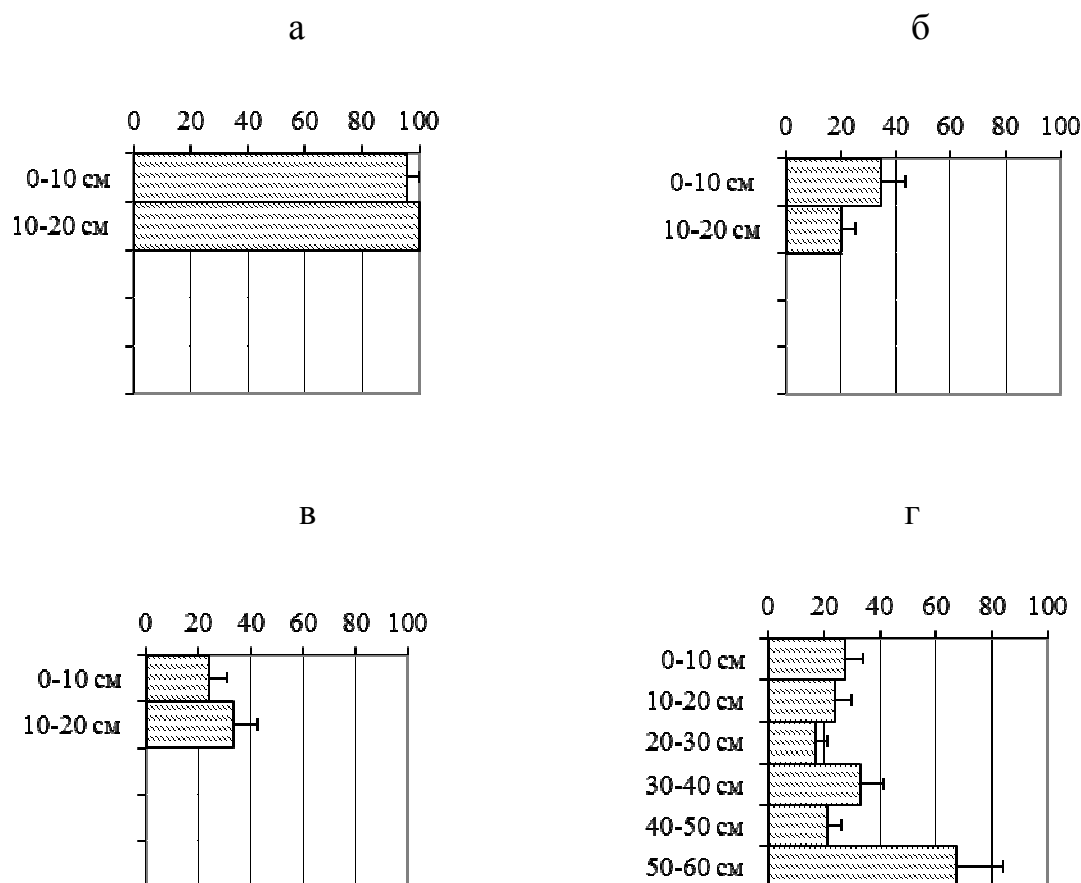
Рис. 2. Доля С-биомассы в $C_{орг}$ (%) в профилях разновозрастных почв, формирующихся в подзоне сухих степей

Доля активной биомассы в общем запасе микроббиомассы оказалась максимальной в закрепленном песке (95–100 %) и резко снижалась при переходе к более развитым каштановым почвам до 24–34 % (рис. 3).

Сильное влияние комплекса факторов, определяемых возрастом почвы, на долю активной биомассы в ее общем запасе выявлено только на первой стадии почвообразования ($F = 468$). Влияние комплекса факторов, определяемых сроком отбора образцов и глубиной по профилю почвы, на данный показатель оказалось не значимым.

Таким образом, в процессе развития каштановой почвы в подзоне сухих степей происходит увеличение запасов гумуса и микробной биомассы. Одновременно происходит значительная перестройка структуры запасов почвенного органического вещества. По мере развития почвы постепенно увеличивается доля С-биомассы в $C_{орг}$ (от 0,3 до 3,3 %) и снижается доля активной биомассы в ее общем запасе (от 100 до 24 %). Все это может свидетельствовать о серьезных перестройках в деструкционном звене биологического круговорота в процессе развития молодых почв в подзоне сухих степей.

Отдельные показатели структуры запасов почвенного органического вещества могут успешно использоваться в практике мониторинга молодых экосистем и почв в подзоне сухих степей, особенно в тех случаях, когда мониторинг с использованием других биологических параметров экосистемы невозможен.



НСР(5%)=14,1

Рис. 3. Доля активной биомассы в общей биомассе микроорганизмов (%) в профилях разновозрастных почв, формирующихся в подзоне сухих степей

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования / Т.В. Аристовская. – Л.: Наука, 1980. – 187 с.
2. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / И.М. Гаджиев, В.М. Курачев, Ф.К. Рагим-заде и др. – Новосибирск: Наука, 1992. – 305 с.
3. Сукцессии и биологический круговорот / А.А. Титлянова и др. – Новосибирск: Наука, 1993. – 157 с.
4. Эксперимент «Убсу-Нур». Ч. 1. Наземные исследования. – М.: Интеллект, 1995. – 336 с.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
6. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass / D.S. Jenkinson, D.S. Powlson // Soil. Biol. Biochem. – 1976. – V. 8, № 3 – P. 209–213.
7. Estimation of active soil microbial biomass by mathematical analysis of respiration curves: development and verification of the model / H. Van de Werf, W. Verstraete // Soil. Biol. Biochem. – 1987. – V. 19, № 3. – P. 253–260.
8. Cytochemical demonstration of catabolism in soil microorganisms / R.M. Macdonald // Soil. Biol. Biochem. – 1980. – V. 12, № 4. – P. 419–423.
9. Плохинский И.А. Биометрия / И.А. Плохинский. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 358 с.

© М.В. Якутин, Д.С. Дубовик, 2008

УДК 528

*М.Т. Устинов*¹, *В.А. Казанцев*², *Л.А. Магаева*³, *М.В. Глистин*⁴

¹ИПА СО РАН, Новосибирск

²СГГА, Новосибирск

³ИВЭП СО РАН, Новосибирск

⁴ФГУП «Запсибгипроводхоз», Новосибирск

ТРАНСЕКТ-КАТЕНИРОВАНИЕ – МЕТОД ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*M.T. Ustinov*¹, *V.A. Kazantsev*², *L.A. Magayeva*³, *M.V. Glistin*⁴

¹ Siberian division of the RF academy of sciences

² SSGA, Novosibirsk

³ Siberian division of the RF academy of sciences

⁴ «Zapsibgiprovodhoz», Novosibirsk

TRANSECT-CATENA METHOD FOR INTERPRETATION OF THE EARTH REMOTE SENSING

A geo-system method is offered to be used for interpretation of the Earth remote sensing, i.e. transect-catena method. Transect-catena is a quality-quantity unit of interpretation and diagnostics. As a natural body and a space-time and sign-image model transect-catena has properties of a mapping model which is very convenient and promising for interpretation and computer simulation.

Дистанционное зондирование земли, наряду с аэро- и космической фотоинформацией, используемой с целью изучения природных геосистем, явлений и процессов, включает также дешифрирование полученных материалов. Важным звеном в данной методологии является полевое дешифрирование.

Информационная универсальность аэро- и космифотоснимков, современные цифровые технологии, широкий спектр видов дешифрирования (экологического, ландшафтного, геологического, почвенного, топографического, геоботанического и т. д.) требуют геосистемного метода дешифрирования. Таким методом является трансект-катенирование, где качественно-количественной единицей дешифрирования и диагностирования является натуральная модель трансект-катена.

Понятие о транс-катене предложено М.Т. Устиновым [1]. Следует сказать, что оно несколько иное, чем близкое по значению понятие полигон-трансект в ландшафтоведении. Последнее есть «вырезка» из местности [2]-сопряженная система фаций, расширенный ключевой участок. Он не отражает полностью ландшафтной специфики территории как по латерали, так и по вертикали, так как в пространственном отношении ограничен. По вертикали он включает

биоту, почвы и почвообразующие породы. Наблюдения за сезонной динамикой функционирования, как правило, «дискретны», ведутся на конкретных объектах – выделах фаций. Они обычно охватывают флористические и климатические аспекты: сезонную динамику растительности, замеры температуры воздуха, почв, влажности, промерзания-оттаивания почв, мощности снегового покрова, количество осадков и др. Такой подход часто исключает возможность выявления глобальных и региональных потоков вещества, энергии и информации через механизмы дальнего аэрального переноса, поступления с грунтовыми водами, в том числе боковым привносом и выносом солей и др. Не фиксируются процессы современного рельефообразования (например, дюн), исключительно быстрые сукцессионные биотические замещения в стороне от полигона-трансекта. Трансект-катена пересекает все доминантные геосистемы данного ландшафта. Исследования так же посезонные, но с выявлением направленности геохимических потоков, с расширением наблюдений в обе стороны от точек на трансект-катене на расстояние, достаточное для фиксации всех реликтовых, прогрессивных и консервативных черт и общей направленности геодинамических процессов. Вертикальная мощность объектов изучения кроме почвенно-грунтовой толщи включает грунтовые воды, водовмещающие породы и водоупоры, т. е. и здесь сфера наблюдений расширена и охватывает всю динамичную часть зоны гипергенеза.

Трансект-катенография как ключевой метод диагностики ландшафтно-биологического разнообразия базируется на бассейновом принципе исследования природных процессов, так как водосбросной бассейн является преобладающей геосистемой, повсеместно формирующей ландшафт и контролирующей взаимосвязь и взаимообусловленность всех природных явлений земной поверхности [3].

В трансект-катене, не вырванной из пространства и времени регионального развития территории и являющейся её натурной моделью и информационным ключом, площадная «геометрическая форма» (картография) почвенного и растительного покрова, сочетается с катенарной (геохимической сопряженностью) и со структурно-функциональной организацией геосистем.

На основе ландшафтно-экологической оценки, базисной карты пластики рельефа на территории водосбросного бассейна выбираются места и закладываются ключевые участки, трансект-катены с учётом региональных особенностей ландшафта и почвенного покрова. Объём трансект-катены определяется трансектом, расположенным от линии водораздела до базиса эрозии (линии наименьших связей компонентов), и локальным или выдержанным водоупором, величина залегания от дневной поверхности которого является мощностью трансект-катены [4].

Трансект-катена, как природное тело, соответствует характеристике природных тел, имея таксономическую определенность, специфический состав и структуру, свои пространственные и временные свойства.

Являясь природным телом и имея высший уровень структурной почвенной организации и организации растительной ассоциации, трансект-катена позволяет выявлять на геосистемном уровне полигенетичность почв,

растительно-почвенно-геохимическую сопряженность, системообразующие связи, установить взаимосвязь свойств почвы и растительности с особенностями ландшафтов, геоморфологией, геологией (стратификация литологии педогенеза), гидрогеологией, гидрометеорологией, историей развития территории с выявлением природных ритмоциклов, с антропогенным воздействиями и техногенезом.

Выполняя роль ключевого участка исследуемого водосборного бассейна, трансект-катена раскрывает его особенности ландшафтно-биологического разнообразия, играя роль диагностирующего критерия функциональной организации динамики экосистем.

Трансект-катене, как природному телу, как пространственно-временной знаково-образной модели, характерны свойства картографической модели, которая весьма удобна и перспективна для компьютерного моделирования и дешифрирования.

Если почва – «зеркало ландшафта» по В.В. Докучаеву [5], а по Д.Л. Арманду [6] – «память ландшафта», то трансект-катена, обладающая большой ёмкостью памяти в структуре почвенного покрова и большой степенью многофакторного отражения особенностей и свойств ландшафта в полно развитой катене, есть пространственно – временной «сайт» водосборного бассейна. Эти особенности трансект-катены обуславливают её перспективность ландшафтной индикации, в качестве индикационной системной единицы ландшафта, так как «эволюция почв совершается только вместе с эволюцией ландшафта» [7, с. 15], а структура почвенного покрова, раскрывает генезис ландшафта [8].

В теоретических аспектах ландшафтной индикации С.В. Викторова, А.Г. Чикишева [9] объектами индикации (индикатами) могут быть как различные природные тела (горные породы, почвы и др.), так и те или иные свойства и протекающие в них процессы (в том числе и антропогенные). Показатели, которые при этом используются, называются индикаторами. К частным индикаторам относят отдельные элементы компонентов ландшафтов (формы рельефа, растительные сообщества и пр.), к комплексным – образованные устойчивыми сочетаниями частных индикаторов. Наиболее распространенные частные индикаторы – различные формы рельефа (геоморфологические индикаторы), особенности открытой поверхности почв (почвенные индикаторы), растительные сообщества (геоботанические индикаторы), внешние черты гидросети и отдельных водоёмов (гидрологические индикаторы), различные следы деятельности человека (антропогенные индикаторы).

Ландшафтная индикация – это определение различных природных и антропогенных явлений и процессов по внешним особенностям ландшафта [9].

В настоящее время индикаторы ландшафта от элементов внешнего облика территории, которые можно было непосредственно увидеть на местности (экзоиндикаторы), но доступные более или менее простому и однозначному определению.

Идёт развитие геоиндикационного моделирования, при котором широко используются самые разные группы индикаторов – комплексные ландшафтные, геоморфологические, геоботанические, почвенные и прочие. Значение геоиндикационного моделирования, оперирующего аэрофото и космическим материалом, находится в прямой зависимости от деятельности наземных исследований [9].

Трансект-катена в качестве геоиндикационной системы является надёжным ландшафтным экзо – и эндоиндикатором, а также геоиндикационным дешифратором аэро- и космической информации.

Внутри ландшафтная индикация в настоящее время слабо разработана [9, 10]. Метод трансект-катен во многом позволяет разрешить данную проблему.

Как природное тело, трансект-катена является объектом индикации (индикатором), в то же самое время через показатели свойств и протекающих в ней процессов относится к комплексному индикатору, сочетает в себе частные индикаторы. В индикационных исследованиях трансект-катена сочетает в себе возможности: различать физиономические компоненты ландшафта (доступные непосредственному визуальному наблюдению и большей частью аэрофотографированию) и диципиентные (трудно наблюдаемые, скрытые, требующие для исследования различных инструментальных или специальных технических средств и методов).

При изучении и картографировании экологических условий и природных процессов наибольшее значение имеют не те или иные отдельные индикаторы, а их закономерные сочетания или ряды в пространстве [10, с.10], что и выражает трансект-катена, позволяющая на геосистемном уровне проводить ландшафтную индикацию.

Трансект-катена является универсальной индикационной системой, количественные и качественные параметры которой позволяют на ландшафтном уровне выполнять педоиндикацию, индикацию уровня грунтовых вод, гало-, геохимическую индикацию, индикацию особенностей милиарируемой толщи, индикацию палеопочв, индикацию литогенеза.

Через интеграцию исследований различных специалистов, возможную благодаря особенностям трансект-катены, расширяется и углубляется геосистемный уровень ландшафтной индикации и картографирования геосистем и их компонентов. Возрастает качество дешифрирования при дистанционном зондировании земли.

При дистанционном зондировании земли метод трансект-катенирования позволяет:

- Повысить точность и сократить объёмы полевого дешифрирования;
- Установить экологическое состояние водосборного бассейна и его геосистем;
- Выявить на геосистемном уровне эволюционно-генетические и функциональные особенности в любой из почв ландшафта;
- Прогнозировать эколого- почвенно-мелиоративное состояние территории;

- Раскрыть генетико-геохимическую суть и последовательность пространственной смены природных компонентов;
- Выполнить ландшафтную индикацию;
- Дешифровать и интерпритировать экологическое картографирование на основе аэро- и космической информации;
- Организовать рациональное заложение реперно-репрезентативных участков при мониторинге земель;
- Выполнять компьютерное моделирование структурно-функциональной организации и динамики геосистем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устинов М.Т. Сибирский экологический журнал. Т. 8, № 3. – 2001. – С. 285– 291 с.
2. Крауклис А.А. Проблема экспериментального ландшафтоведения. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1979.
3. Исаченко А.Г. Природа мира: Ландшафты. – М.: Мысль, 1989.
4. Устинов М.Т. Катенография и эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова методом трансект-катен. // Сибирский экологический журнал. Т. 8, № 3 май-июнь 2001 – С. 285–291.
5. Докучев В.В. Избранные сочинения. М.: Сельхозгиз., 1954. – 708 с.
6. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. М.: Издательство «Мысль», 1975. – 288 с.
7. Гаджиев И.М. Эволюция почв южной тайги Западной Сибири. – Новосибирск, Наука, 1982. – 280 с.
8. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Издательство «Мысль», 1972. – 336 с.
9. Викторов С.В., Чикашев А.Г. Ландшафтная индикация и её практическое применение. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 200 с.
10. Востокова Е.А., Сущеня В.А., Шевченко Л.А. Экологическое картографирование на основе космической информации. – М.: Недра, 1988. – 223с.

© М.Т. Устинов, В.А. Казанцев, Л.А. Магаева, М.В. Глистин, 2008

УДК 631.4:502.75

Б.М. Кленов, А.Г. Гриценко

СГГА, Новосибирск

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ИЗУЧЕНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГУМУСА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССА

B.M. Klenov, A.G. Gritsenko

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

METHDOLOGICAL PROBLEMS IN THE STUDYOF HUMUS UNDER HUMAN IMPACT

The paper deals with the influence of some human impact factors on the change of the nature of soil humus. The problem under consideration is one of the principal in the program of geodesic academy on soil environmentology. The objective of this communication consists in interpreting more comprehensively the mechanisms responsible for the change of soil organic matter under human impact.

Курс экологии почв в Сибирской государственной геодезической академии читается для студентов-геоэкологов на кафедре экологии и природопользования уже на протяжении 10 лет. Естественно, за данный отрезок времени накоплен определенный опыт. Помимо общепринятых учебных пособий студентам предлагаются теоретические и практические курсы, изданные кафедрой. Однако опыт проведения занятий подсказывает нам, что в пределах выполняемой учебным планом программы необходимо находить ресурс времени для доведения до понимания студентами наиболее проблематических вопросов, которые не всегда представляются ясными. В частности, это относится к вопросу реакции почвы на различные антропогенные воздействия, ослабляющие, а зачастую нарушающие основные экологические функции, которые выполняет почва в биосфере. На все антропогенные воздействия, прежде всего, реагирует органическая компонента почва. Вместе с тем в органической компоненте более всего уязвим её основной компонент – гумус. Гумус – продукт биологического круговорота, в котором участвуют органическое вещество отмерших растительных остатков, почвенной фауны и почвенной микрофлоры.

В данном сообщении обратим внимание на некоторые менее изученные и более трудные для понимания студентами вопросы влияния некоторых видов антропогенного пресса на гумусовую часть почвы, которая, как известно, является и атрибутом почвы, и носителем её плодородия.

Антропогенное воздействие весьма многоплановое явление. Это – распашка земель и как следствие ее усиление водной и ветровой эрозии,

вырубка лесов, пожары, добыча полезных ископаемых, изъятие земель под строительство и многие другие виды деятельности. Например, выбросы промышленных предприятий, кислотные дожди, поступление в почву тяжелых металлов, детергентов, пестицидов, ненормированное применение минеральных удобрений, ненормированное орошение или осушение почв, применение для орошения почв неудовлетворительно очищенных вод стока промышленных и сельскохозяйственных предприятий и др. Все виды антропогенных воздействий изменяют почву как физическую и химическую среду обитания живых организмов. Любое антропогенное воздействие ведет к сокращению биоразнообразия в целом и, в частности, растений, почвенных животных и микроорганизмов, ответственных за многообразие почв. Сокращение биоразнообразия означает и ослабление, а иногда и нарушение экологических функций почв. Любой вид антропогенного воздействия прямо или косвенно сокращает биоразнообразие вообще и разнообразие живых организмов (растений и живого населения почв, определяющих их формирование).

Самый древний и более всего изученный антропогенный пресс на почву – это её распашка и длительное использование в земледельческой практике. В этом случае механизмы, которые управляют потерей гумуса при использовании почв, представляются яснее всего, поскольку вопросы биологического круговорота длительным опытом науки и практики изучены довольно обстоятельно. При обработке почвы потеря гумуса связана с его повышенным окислением. Распределение продуктов минерализации и гумификации мертвого органического вещества сейчас никаких сомнений не вызывают. В ходе ведения земледельческой практики отмечается не только снижение гумусового уровня, но и существенное изменение структуры его компонентов [1]. При этом теряются его компоненты, которые определяют катионообменную и водоудерживающую способность почвы и в целом её биопротекторную функцию.

Для более четкого понимания, что происходит с гумусом в результате антропогенного пресса, студентам необходимо иметь самое элементарное представление о его природе в целом и его составляющих. С другой стороны, необходимо принимать во внимание, что будет происходить с гумусом при том или ином виде антропогенного воздействия.

Наиболее проблематичным является познание механизмов взаимодействия гумусовых веществ с загрязнителями. Если вопросы влияния некоторых мелиоративных приемов (известкование, гипсование) на почву и гумус общеизвестны и не являются экологически опасными, то вопросы воздействия на почву веществ инородной природы изучены ещё не достаточно полно. Даже общеизвестные издавна применяемые минеральные удобрения, которые должны вноситься в почву только с учетом потребностей в них растений, могут оказываться при избыточном внесении или загрязнителями почв, или разрушителями её органического вещества. Взаимодействие минеральных удобрений с гумусовыми компонентами также неоднозначно, что зависит от природы минерального удобрения как минеральной соли [2].

Наиболее распространенное бедствие промышленно развитых районов – кислотные дожди. Это одна из «тяжелых болезней биосферы» косвенно отражается и на потерях из почвенного профиля органического вещества. Вымывание кальция и магния – следствие выноса органического вещества, основные компоненты которого – гуминовые кислоты и фульвокислоты – могут закрепляться в почве этими элементами. Поверхностно-активные вещества, обладающие обычно щелочной реакцией и поступающие в почву при орошении её неудовлетворительно очищенными водами стока промышленных и сельскохозяйственных предприятий, растворяют гумусовые вещества и способствуют их выносу из почвенного профиля. Тяжелые металлы – продукты промышленных выбросов, также блокируются гумусовыми кислотами в результате образования устойчивых в почвенных условиях внутрикомплексных соединений – хелатов [3].

Актуальной остается проблема загрязнения почв пестицидами, особенно в районах возделывания фруктовых насаждений. Как нам представляется из обзора различных источников, дело в том, что по своей природе большинство пестицидов, имеющих в своем строении бензольное кольцо, обладает сродством с гумусовыми кислотами. И в тех и других соединениях имеются функциональные группы, которые в значительной степени обуславливают их взаимодействие между собой. Имеет место также сорбция ксенобиотиков гумусовыми кислотами [4], образование соединений по типу катионного обмена и за счет других типов взаимодействия между пестицидами и гумусовыми веществами. Так или иначе, но за счет сродства эти соединения могут «встраиваться в структуру друг друга». Поэтому общеизвестное медленное разложение пестицидов в почве объясняется не только биологической их устойчивостью, но и способностью образовывать устойчивые к разложению комплексы с гумусовыми кислотами.

В последние два десятилетия в литературе стали обращать усиленное внимание на такой фактор как лесные пожары, которые, как известно, имеют естественное и антропогенное происхождение. При пожарах сильной интенсивности почва впадает в анабиоз в связи с полной гибелью биоты и сгоранием гумуса. При слабой и средней интенсивности биота частично сохраняется и может восстановиться в течение нескольких десятилетий, но гумусовая её часть становится полностью инертной в связи с утерей боковых активных групп в составе гуминовых кислот и фульвокислот [5]. Следует отметить, что при этом происходят значительные потери гумуса и соответственно всех его компонентов, обладающих свойствами биологически активных соединений.

Таким образом, вышеприведенные далеко не все примеры показывают, что гумусовая часть почвы как сложная система природных полимеров кислотной природы по-разному реагирует на различные антропогенные факторы и при решении экологических задач прогнозного характера необходимо принимать во внимание, как природу гумуса, так и особенности типов антропогенного пресса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кленов, Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири /Б.М. Кленов. – Новосибирск: СО РАН, филиал «ГЕО», 2000. – 176 с.
2. Кленов, Б.М. Вопросы экологии гумуса в курсе «Экология почв» / Б.М. Кленов, Т.Н. Елизарова, А.Г. Гриценко / Современные проблемы Геодезии и оптики. Сб. материалов конференции. Новосибирск: СГГА, 2003. – Ч. II. – С. 23–24.
3. Stevenson, F.J. Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, microelements / F.J. Stevenson. N.Y.: Wiley-Interscience, 1986. – 380 p.
4. Almendros, G. Sorptive interactions of pesticides in soils treated with modified humification/ G. Almendros // Europ. J. Soil Sci. – 1995. – V. 46. – №2. – P. 287–301.
5. Gonzalez-Perez, J.A. a. o. The effect of fire on soil organic matter – a review / J.A. Gonzalez-Perez, F.J. Gonzalez-Vila, G. Almendros, H. Knicher // Environment International, 2004. – Vol. 30. – P. 855–870.

© Б.М. Кленов, А.Г. Гриценко, 2008

УДК 551.583+551.481

*А.Н. Пучнин*¹, *М.В. Якутин*²

¹ СГГА, Новосибирск

ИПА СО РАН, Новосибирск

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ В XX ВЕКЕ И ЭВОЛЮЦИЯ АЛАСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

*A.N. Puchnin*¹, *M.V. Yakutin*²

¹ SSGA, Novosibirsk

ISSA SB RAS, Novosibirsk

CHANGES OF A CLIMATE IN CENTRAL YAKUTIA IN XX CENTURY AND EVOLUTION OF ALAS ECOSYSTEMS

It is ground of the analysis perennial (50-100 years) data of air temperature and sum of precipitations for month is draw a conclusioned the tendencies of climate change in Central Yakutia. Influencing change of a climate on a status of a permafrost and alas area is analyzed.

На фоне инструментально зарегистрированных изменений климата в течение последних 140 лет климатологи выделяют достоверное потепление 1904–1944 гг., достоверное похолодание 1944–1976 гг. и, наконец, достоверное потепление 1976–1999 гг.

Международная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), взяв за основу данные, поступившие от нескольких тысяч метеорологических станций, расположенных по всему миру, выяснила, что за последние 140 лет средняя величина изменения климата составила $0,6^{\circ}\text{C} + 0,2^{\circ}\text{C}$. По мнению МГЭИК до 1976 г. изменчивость климата не превышала естественных вариаций, оцененных на отрезке около 1000 лет, но после этого амплитуда колебания превысила эту величину, и стало возможным говорить о глобальном потеплении климата [1].

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 [2].

Современное потепление диагностируется практически повсеместно. Наибольшие изменения отмечены над континентами между 40 и 70° с. ш. Над морем изменения меньше, причем в некоторых регионах наблюдаются отрицательные аномалии. Практически повсеместно положительный тренд среднегодовых значений температуры обнаружен на территории России: на ее европейской территории, Дальнем Востоке и Чукотке это $0,3$ – $0,4^{\circ}\text{C}$ за 10 лет, и

в Сибири это 0,5–0,7° С за 10 лет. Основной вклад создается ростом температур холодного сезона. Для зимних температур тренд в Центральной и Южной Сибири составляет 1,5–1,7° С за 10 лет. А летом статистически значимый рост не диагностируется [3].

За последние 100 лет над континентами во внетропических широтах отмечается также положительный тренд осадков (примерно 10 % от годовой суммы). И в целом можно говорить о слабо выраженном согласованном росте температуры и осадков в умеренных и средних широтах. Подобная связь типична и для крупных потеплений прошлого [3].

Климат Якутии характеризуется резкой континентальностью, большими колебаниями температур и малым количеством осадков. Основным фактором, определяющим состояние атмосферы, является мощный и устойчивый зимний сибирский антициклон. По сравнению с районами, лежащими на той же широте в Европейской части и в Западной Сибири, запасы солнечной энергии в Якутии оказываются больше, что связано с соответствующими циркуляционными условиями, определяющими значительную повторяемость антициклональных погод с высокой прозрачностью атмосферы.

Большое влияние на почвенный климат, растительность и на развитие всех факторов физико-географической среды оказывает многолетняя мерзлота. Вся территория Якутии, за исключением юго-западной части, расположена в зоне сплошной вечной мерзлоты, мощность которой колеблется от нескольких десятков метров до 400–600 м и более. Повсеместное распространение мерзлых пород способствует деформации почвогрунтов (просадки, бугры и т. д.), а частичная деградация ледового комплекса приводит к широкому распространению таких форм рельефа, как аласные котловины [4].

Своим образованием аласы обязаны ледовому комплексу, сформировавшемуся в результате сурового и влажного климата плейстоцена. Сохранение этого комплекса в настоящее время возможно только в современных экстраконтинентальных климатических условиях. Частичная деградация ледового комплекса, связанная с его протаиванием и образованием отдельных термокарстовых котловин, произошло в верхнем плейстоцене и голоцене вследствие колебаний климата. В современных условиях вследствие аридизации климата Центральной Якутии развитие природного термокарста сильно замедлено. Но, в общем, аласный рельеф можно считать промежуточным типом рельефа, этапом превращения равнины, сложенной ледовым комплексом, в ландшафт с незначительным содержанием такого комплекса [5].

Для оценки тенденций изменения климата в Центральной Якутии в XX веке нами была предпринята попытка анализа метеоданных с 1903 по 2005 гг. по метеостанции г. Якутска (62°01′ с. ш., 129°43′ в. д.) и с 1955 по 2005 гг. по метеостанции с. Бердигестях (62°16′ с. ш., 127°04′ в. д.).

На рис. 1, 2 и 3 приведены графики изменения температуры воздуха, построенные на основании сравнения среднемесячных температур в каждом конкретном месяце со среднемесячными за весь период наблюдения [6], т. е. график температурных аномалий на протяжении 1 236 месяцев (Якутск) и 606 месяцев (Бердигестях). Из графиков хорошо видна устойчивая

тенденция к росту температуры воздуха в Центральной Якутии во второй половине XX века.

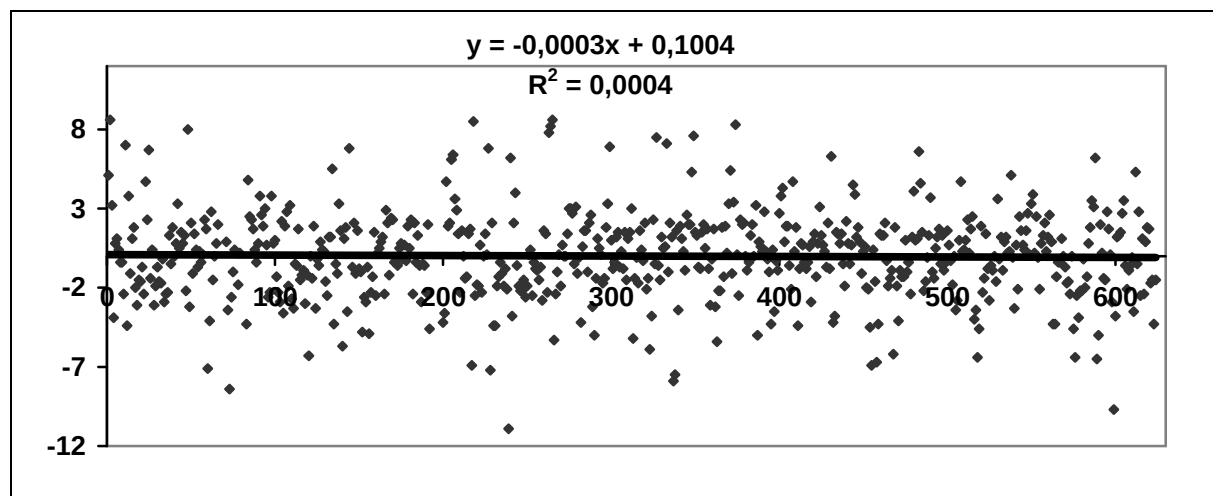


Рис. 1. Аномалии среднемесячной температуры воздуха по сравнению со среднемесячными многолетними температуры воздуха за период 1903–1954 гг. по метеостанции г. Якутска

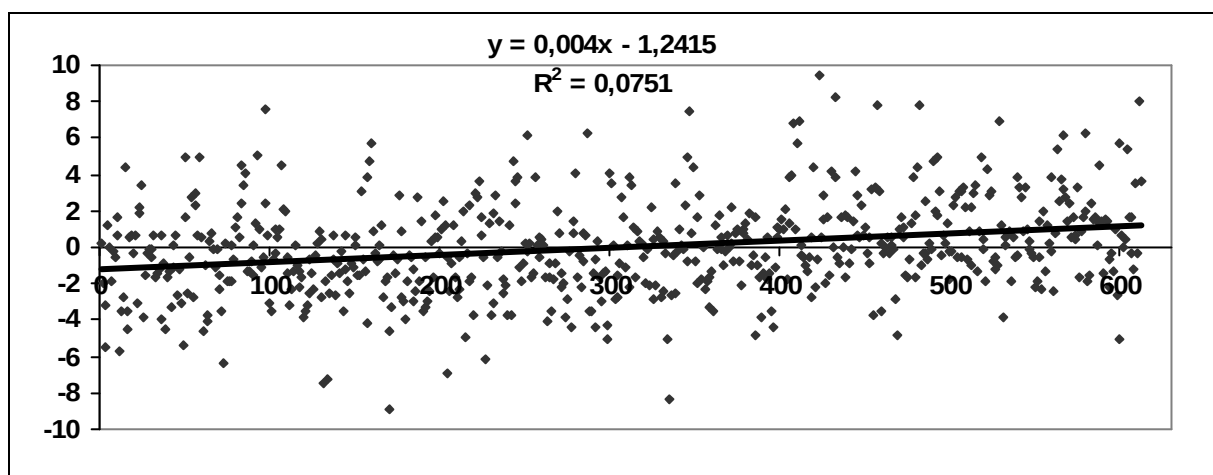


Рис. 2. Аномалии среднемесячной температуры воздуха по сравнению со среднемесячными многолетними температуры воздуха за период 1903–2005 гг. по метеостанции г. Якутска

Если же рассматривать изменение температуры по десятилетиям, то мы увидим этот процесс более детально. Так, с 1903 по 2005 на Якутской метеостанции прослеживается тенденция к уменьшению среднемесячной температуры воздуха в периоды 1903–1922, 1933–1952, 1963–1982 гг. Однако, начиная с 1983 года можно уверенно говорить об увеличении среднемесячной температуры воздуха по сравнению со среднемноголетней температурой.

Рассматривая изменения среднемесячной температуры по отдельным месяцам как на метеостанции г. Якутска так и с. Бердигестях, можно с

уверенностью говорить об увеличении среднемесячной температуры не только в летний, но и в осенне-зимний период, что также демонстрирует устойчивую тенденцию к увеличению температуры воздуха.

Анализ аномалий месячных суммарных количеств осадков по сравнению со среднемноголетними месячными суммами количества осадков за период 1903–2005 гг. по метеостанции г. Якутск (рис. 4) и 1955–2005 гг. по метеостанции с. Бердигестях (рис. 5.) продемонстрировали незначительный общий рост увлажненности территории Центральной Якутии.

Анализ аномалий по отдельным месяцам за весь период наблюдений показал, что количество осадков в целом увеличивается во все месяцы года кроме августа (в этот месяц количество осадков в целом уменьшается).

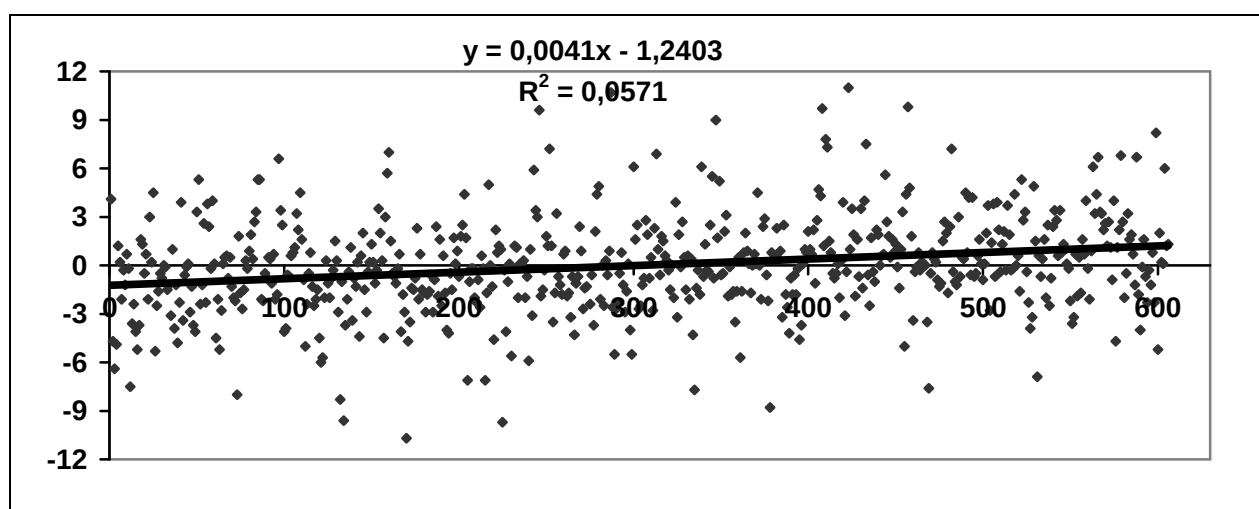


Рис. 3. Аномалии среднемесячной температуры воздуха по сравнению со среднемесячными многолетними температуры воздуха за период 1955–2005 гг. по метеостанции с. Бердигестях

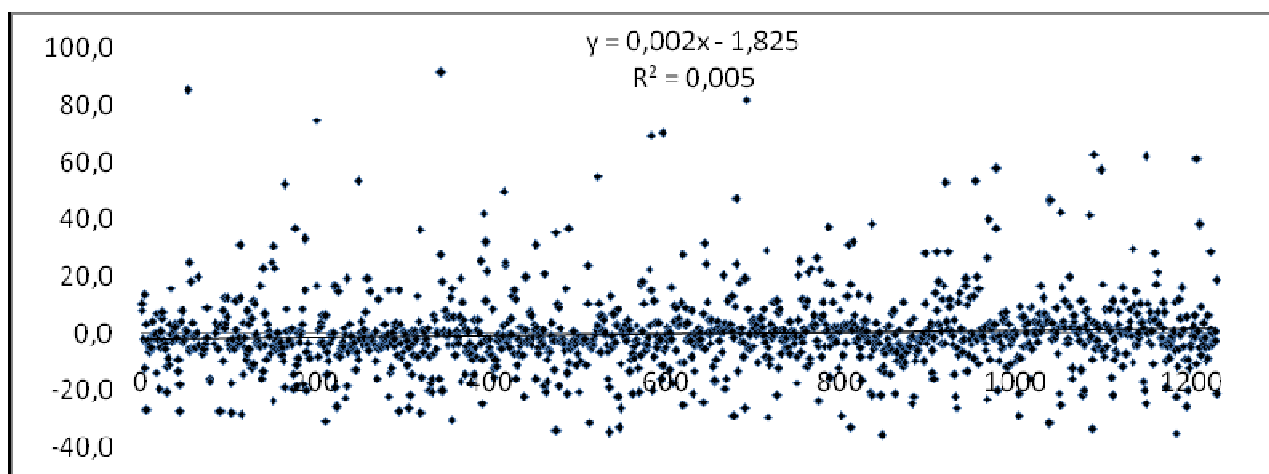


Рис. 4. Аномалии месячных сумм осадков по сравнению со среднемноголетними месячными суммами осадков за период 1903–2005 гг. по метеостанции г. Якутск

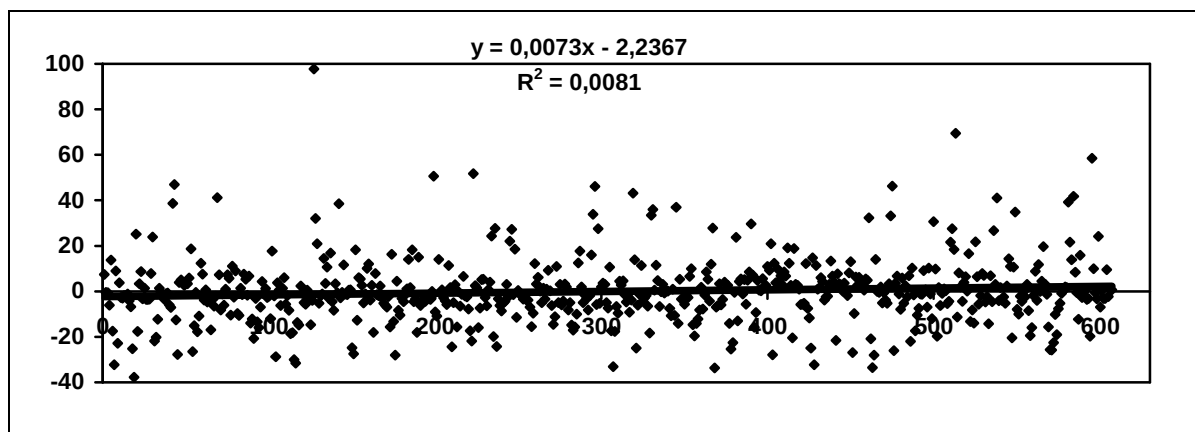


Рис. 5. Аномалии месячных сумм осадков по сравнению со среднемноголетними месячными суммами осадков за период 1955–2005 гг. по метеостанции с. Бердигестях

Таким образом, глобальные изменения климата проявляются и на территории Центральной Якутии. На протяжении последних 100 лет наблюдается устойчивая тенденция к увеличению среднемесячных температур воздуха. Наблюдается также незначительное общее увеличение суммарного количества осадков. При сохранении этих тенденций мы вправе ожидать увеличение скоростей деградации ледового комплекса и общую активизацию процессов, ведущих к развитию аласов.

По прогнозам повышение температуры воздуха на севере России на 1,5–2,0° С приведет уменьшению современных размеров криолитозоны в результате отступления ее южной границы на север на 150–200 км и более. Произойти это может уже к середине XXI века [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарко, А.М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование / А.М. Тарко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 232 с.
2. Houghton, R.A. Global climatic change / R.A. Houghton, G.M. Woodwell // Scientific American – 1989. – Apr. – P. 36–44.
3. Кислов, А.В. Изменения и изменчивость глобального климата / Современные глобальные изменения природной среды. В 2-х томах. Т. 1. / А.В. Кислов. – М.: Научный мир, 2006. – 696 с.
4. Щадрина, Е.Г. Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышленности на наземные экосистемы Севера: Морфогенетический подход / Е.Г. Щадрина, Я.Л. Вольперт, В.А. Данилов. – Новосибирск: Наука, 2003. – 110 с.
5. Десяткин, Р.В. Почвы аласов Лено-Амгинского междуречья / Р.В. Десяткин. – Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1984. – 168 с.
6. Conen, F. Potential for detecting changes in soil organic carbon concentrations resulting from climate change / F. Conen, M.V. Yakutin, A.D. Sambuu // Global Change Biology. – 2003. – V. 9. – P. 1515–1520.

7. Конищев, В.Н. Современные тенденции развития криолитозоны / Современные глобальные изменения природной среды. В 2-х томах. Т. 1. / В.Н. Конищев. – М.: Научный мир, 2006. – 696 с.

© *А.Н. Пучнин, М.В. Якутин, 2008*

УДК 631.427

М.В. Якутин¹, А.Н. Пучнин²

¹ИПА СО РАН, Новосибирск

²СГГА, Новосибирск

ПОЧВЕННО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МОНИТОРИНГЕ АЛАСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕНО-ВИЛЮЙСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

M.V. Yakutin¹, A.N. Puchnin²

¹ISSA SB RAS, Novosibirsk

²SSGA, Novosibirsk

METHODS OF SOIL MICROBIALOGY IN MONITORING OF ALAS ECOSYSTEMS ON REGION BETWEEN LENA AND VILUI RIVERS

There are analysis of the change of parameters of soil microbial biomass and basal respiration during evolution of alas ecosystems on region between Lena and Vilui rivers. The feasibility of this index for the purposes of ecological monitoring is substantiated.

Аласы – врезанные мезодепрессии термокарстового происхождения – являются типичной частью таежного ландшафта Центральной Якутии. Своим образованием аласы обязаны ледовому комплексу, который сформировался в плейстоцене и до сих пор является основой рельефа Якутии в подзоне средней и северной тайги. Разрушение ледового комплекса в условиях современного аридного климата закономерно ведет к замене таежных экосистем экосистемами холодных степей. Благодаря высокой продуктивности экосистемы аласов издревле используются в качестве пастбищ и сенокосов. В последние десятилетия происходит постоянное увеличение антропогенного пресса на аласные экосистемы, что делает особенно актуальным поиск простых надежных методов экологического мониторинга этих экосистем [1].

Цель настоящего исследования состояла в изучении особенностей функционирования биомассы почвенных микроорганизмов в аласах Лено-Виллюйского междуречья и в оценке применимости современных микробиологических методов для целей мониторинга аласных экосистем и почв.

Исследование было проведено междуречье Лены и Вилюя в аласе Хоту. В качестве объектов исследования были выбраны зональная мерзлотная палево-бурая типичная почва на границе аласа (Т. 1) и три мерзлотные аласные почвы: лугово-черноземная (Т. 2), черноземно-луговая (Т. 3) и торфянисто-глеевая (Т. 4). Все исследованные экосистемы расположены на одной катене длиной около 200 м. Основные характеристики исследованных экосистем приведены в табл. 1.

Образцы отбирались в августе 2005 года из генетических горизонтов всех исследованных почв в четырехкратной повторности по общепринятой методике [2]. В образцах определялось содержание углерода в биомассе почвенных микроорганизмов (С-биомассы) методом СИД [2]. Базальное дыхание оценивалось по количеству CO_2 , выделившемуся из почвы, инкубированной 24 часа в темноте в плотно закрытом пенициллиновом флаконе при температуре 22°C и влажности 60 % от полной влагоемкости. Также в данной работе вычислялся показатель удельной активности микробобиомассы – метаболический коэффициент (Q) – выделение С- CO_2 на единицу С-биомассы в час [3, 4]. Статистическая обработка результатов проводилась методами вариационного и дисперсионного анализов [5].

Таблица 1. Основные характеристики исследованных экосистем

№ п/п	Геоморфологическое положение	Экосистема	Почва	Сельхоз использование
Т. 1	Граница аласа	Березово-лиственничный лес	Мерзлотная палево-бурая типичная	Не используется
Т. 2	80 м от Т. 1 по направлению к заболоченному озеру	Разнотравно-злаковый остепненный луг. Проективное покрытие 80 %, высота травостоя 40 см	Мерзлотная аласная лугово-черноземная	Многолетний сенокос
Т. 3	130 м от Т. 1 по направлению к заболоченному озеру	Разнотравно-злаковый луг. Проективное покрытие 80 %, высота травостоя 40 см	Мерзлотная аласная черноземно-луговая	Многолетний сенокос
Т. 4	200 м от Т. 1, 20 м от урезаводы	Осоковый заболоченный луг. Проективное покрытие 100 %, высота травостоя 55 см	Мерзлотная аласная торфянисто-глеевая	Не используется

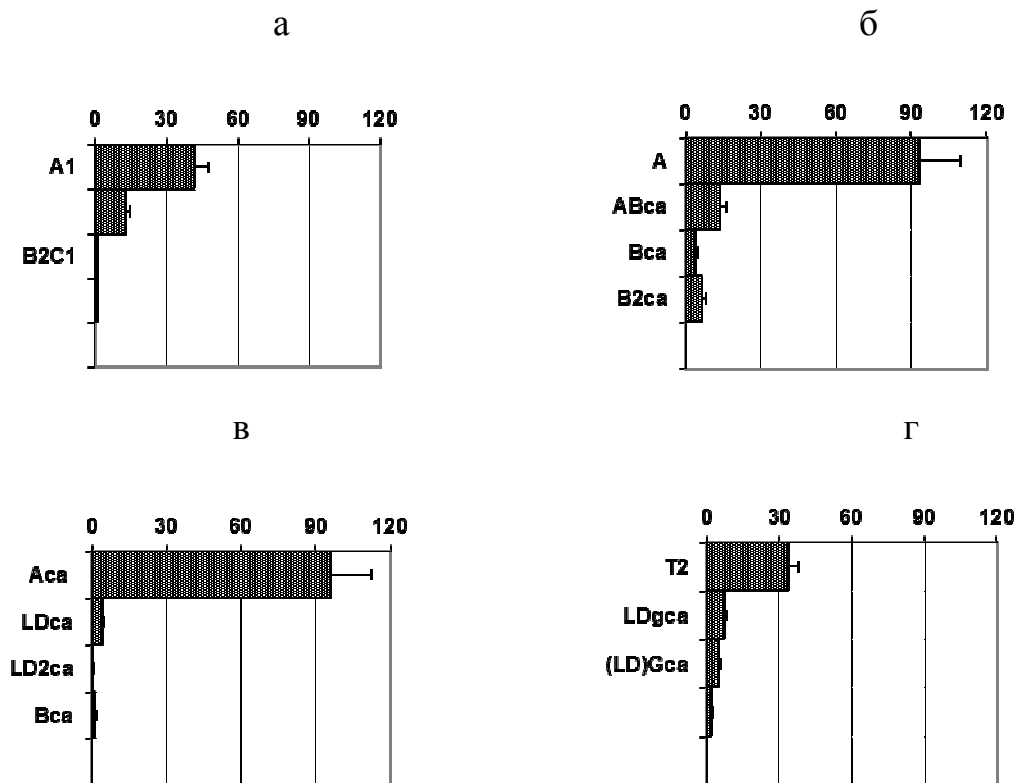
Характерной особенностью всех исследованных мерзлотных почв является сосредоточение основной части запасов биомассы микроорганизмов в верхнем горизонте и резкое уменьшение запасов С-биомассы вниз по профилю (рис. 1 а). Аналогичная закономерность выявлена и для профильного распределения показателя базального дыхания (рис. 2 а).

Для зональной мерзлотной палево-бурой типичной почвы (Т. 1) характерны относительно низкие значения биомассы микроорганизмов в верхнем (0–10 см) слое (41 мг С-биомассы / 100 г почвы) при относительно высоком уровне базального дыхания (1,1 мкг CO_2 -С/ г почвы в час).

Эволюция почв и экосистем в Центральной Якутии в процессе формирования аласов происходит по законам долговременной вторичной сукцессии, которая начинается с формирования озера на месте зональной таежной экосистемы. На этой стадии происходит накопление донных осадков и их карбонатизация [1, 6].

Сразу после выхода из-под воды, на первой стадии развития аласных почв – стадии мерзлотной аласной торфянисто-глеевой почвы (Т. 4) – активно протекают процессы торфонакопления и оглеения. На этой стадии отмечается

низкий уровень микробобимассы (34 мг С-биомассы / 100 г почвы) и минимальный уровень базального дыхания (0,6 мкг CO₂-C/ г почвы в час).



НСР(5%) = 11,0

Рис. 1а. Профильное распределение С-биомассы (мг С/ 100 г почвы) в исследованных мерзлотных почвах: палево-бурой типичной (а), аласной лугово-черноземной (б), аласной черноземно-луговой (в) и аласной торфянисто-глеевой (г)

На второй стадии развития почв аласов болотные экосистемы сменяются луговыми, в которых, благодаря оптимальному соотношению тепла и влаги, отмечается высокая продуктивность и активизируются процессы гумусонакопления [1]. На этой стадии эволюции (мерзлотная аласная черноземно-луговая почва, Т. 3) запасы С-биомассы в верхнем (0–10 см) слое увеличиваются в 2,8 раза, а базальное дыхание в 2,1 раза по сравнению со стадией болотных почв.

Третья стадия эволюции почв – остепненная стадия – является результатом крайнего иссушения деятельного слоя и динамики рельефа. На этой стадии активизируется солонцовый процесс и процесс гумусонакопления [7]. На этой терминальной стадии эволюции аласной экосистемы (мерзлотная аласная лугово-черноземная почва, Т. 2) запас биомассы микроорганизмов и уровень базального дыхания в верхнем (0–10 см) слое практически не изменяется, а в слое 10–20 см увеличивается в 3 раза по сравнению с луговой стадией. При этом уровень почвенной микробобимассы на степной стадии эволюции

аласных экосистем оказывается в 2,2 раза, а базального дыхания в 1,4 раза выше, чем в зональной мерзлотной палево-бурой типичной почве.

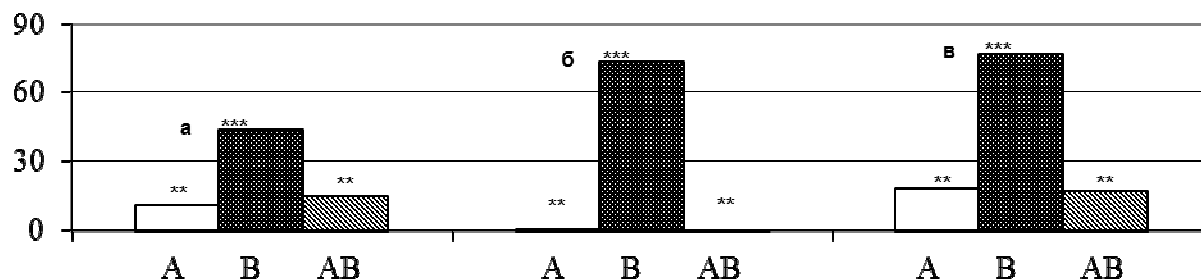
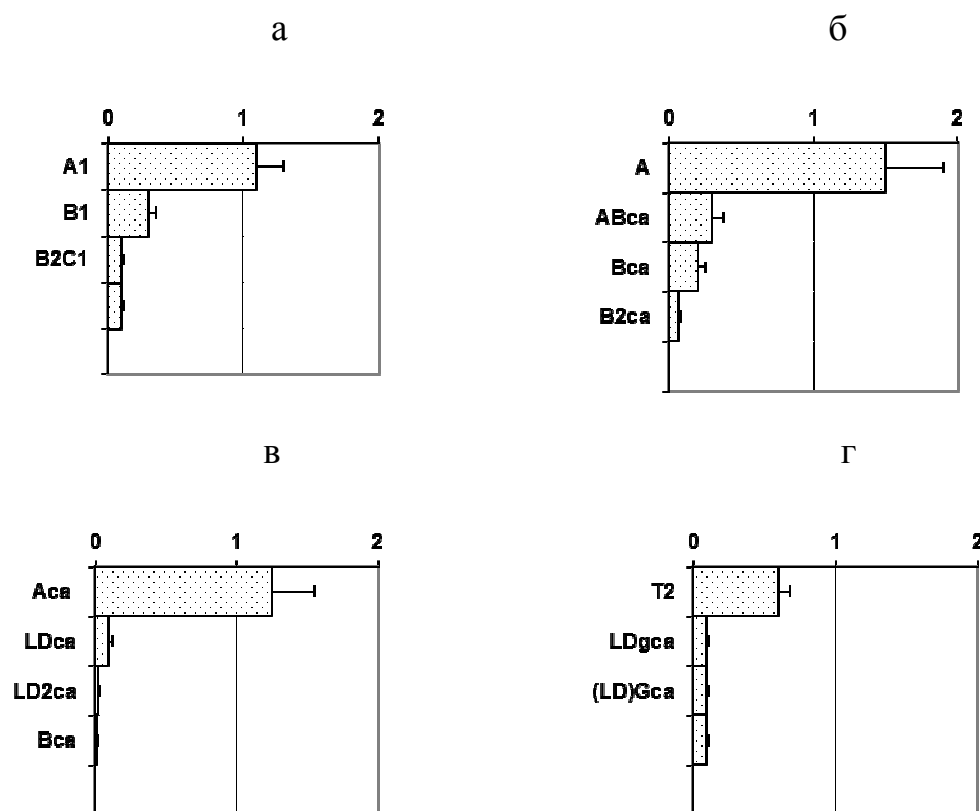


Рис. 16. Значения F критерия для различных факторов, влияющих на биомассу микроорганизмов на разных стадиях эволюции аласных почв: а – при переходе от торфянисто-глеевой почвы к черноземно-луговой; б – при переходе от черноземно-луговой почвы к лугово-черноземной; в – при переходе от лугово-черноземной почвы к палево-бурой типичной (А – тип почвы, В – слой почвы, АВ – взаимодействие факторов, ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.)



НСР(5 %) = 0,26

Рис. 2а. Базальное дыхание ($\text{мкг CO}_2\text{-C/г почвы в час}$) в профилях исследованных мерзлотных почв: палево-бурой типичной (а), аласной лугово-черноземной (б), аласной черноземно-луговой (в) и аласной торфянисто-глеевой (г).

Для оценки силы воздействия различных факторов, влияющих на изученные показатели, были рассчитаны значения F-критерия для различных факторов, влияющих на биомассу микроорганизмов на разных стадиях эволюции аласных почв.

Комплекс факторов, определяемых типом почвы, оказывал значимое влияние на С-биомассы только при переходе от торфянисто-глеевой почвы к черноземно-луговой и при переходе от лугово-черноземной почвы к палево-бурой типичной (рис. 1 б). Влияние комплекса факторов, определяемых типом почвы на базальное дыхание, оказалось незначимым на всех стадиях эволюции аласных почв (рис. 2 б).

Значения метаболического коэффициента оказались максимальными в палево-бурой типичной почве (2,6 мкг С-СО₂ / мг С-биомассы в час) и снижались в 1,4-2 раза при переходе от этой почвы к почвам аласа.

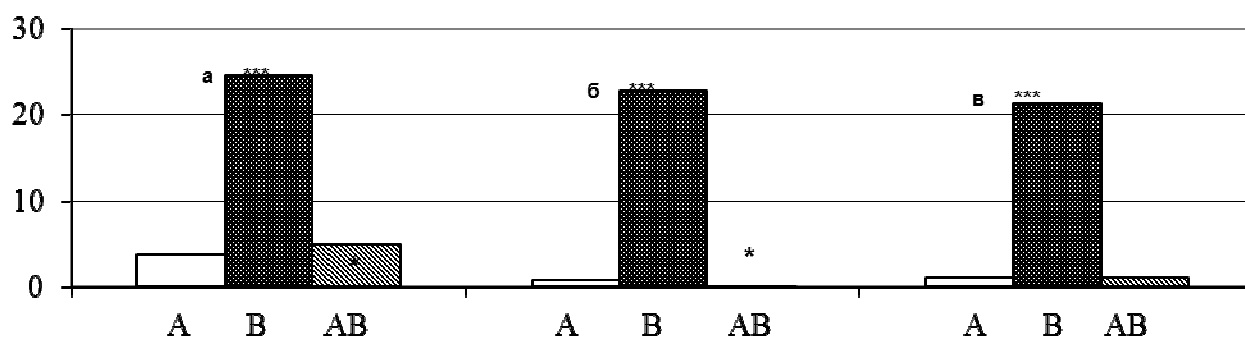


Рис. 2б. Значения F критерия для различных факторов, влияющих на базальное дыхание на разных стадиях эволюции аласных почв: а – при переходе от торфянисто-глеевой почвы к черноземно-луговой; б – при переходе от черноземно-луговой почвы к лугово-черноземной; в – при переходе от лугово-черноземной почвы к палево-бурой типичной. (А – тип почвы, В – слой почвы, АВ – взаимодействие факторов, *- $p < 0,05$; ***- $p < 0,001$.)

Таким образом, в процессе эволюции аласных почв происходит увеличение С-биомассы на луговой и степной стадиях. На луговой стадии также отмечается значительный рост базального дыхания. Все это свидетельствует о перестройке комплекса почвенных микроорганизмов при переходах от одной стадии эволюции аласной экосистемы к другой.

Современный микробиологические методы могут успешно использоваться в практике экологического мониторинга для диагностики некоторых стадий эволюции аласной экосистемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Десяткин, Р.В. Почвы аласов Лено-Амгинского междуречья / Р.В. Десяткин. – Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1984. – 168 с.

2. Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1991 – 304 с.
3. Благодатская, Е.В. Характеристика состояния микробного сообщества почв по величине метаболического коэффициента / Е.В. Благодатская, Н.Д. Ананьева, Т.Н. Мякшина // Почвоведение. – 1995. – № 2. – С. 205–210.
4. Anderson, T.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state / T.H. Anderson, K.H. Domsch // Biol. Fert. Soil. – 1985. – V. 1, № 5. – P. 81–89.
5. Плохинский, И.А. Биометрия / И.А. Плохинский. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 358 с.
6. Аласные экосистемы: структура, функционирование, динамика / Д.Д. Саввинов, С.И. Миронова, Н.П. Босиков и др. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
7. Еловская, Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии / Л.Г. Еловская. – Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1987. – 172 с.

© М.В. Якутин, А.Н. Пучнин, 2008

УДК 911.2; 631.4

*С.Я. Кудряшова, Л.Ю. Дитц, А.Ф. Путилин, А.В. Чичулин,
А.М. Шкаруба, А.С. Чумбаев, Г.Ф. Миллер*
СГГА, Новосибирск

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ И ЭРОЗИОННЫХ ПОТЕРЬ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ ЛЕСОСТЕПИ ПРИБОБЬЯ НА ОСНОВЕ ГИС

*S.Ya. Kudryashova, L.Yu. Dits, A.F. Putilin, A.V. Chichulin, A.M. Shkaruba,
A.S. Chunbayev, G.F. Miller*
SSGA, Novosibirsk

GIS-BASED ESTIMATION OF ORGANIC CARBON RESERVES AND EROSION DAMAGE IN FOREST-STEPPE DRAINAGE BASINS SOILS OF THE OB VICINITY

The principles of basin concept for estimation soil carbon stocks and their erosive losses at agricultural use at the different hierarchical levels of structural organization with GIS.

В настоящее время для описания современного географического и временного распределения запасов почвенного углерода все чаще используется бассейновая концепция, как ведущая часть функционально-целостного подхода. Обоснование бассейна, как самой распространенной, геосистемы, целостного природно-геоморфологического образования, в границах которого замыкаются основные циклы круговоротов вещества и энергии, дает значительную возможность для выявления особенностей формирования запасов углерода в пределах территориальных выделов различного иерархического уровня [1, 2].

Целью нашей работы являлась оценка запасов углерода в почвах локального водосборного бассейна лесостепи Приобья и их эрозионных потерь при сельскохозяйственном использовании на основе дистанционной информации для разных иерархических уровней его организации. Актуальность исследования связана с высокой значимостью почвенного покрова лесостепи Западной Сибири в структуре глобального углеродного баланса, как в создании общих запасов, так и в части, связанной с выносом органического углерода. Согласно имеющимся данным, всего в почвенном покрове Западной Сибири содержится 22 642 млрд. т органического углерода из которых более 30 % сформировано почвами лесостепной зоны [3].

Вынос органического углерода происходит, главным образом, в результате развития эрозионных процессов, которые определяются спецификой природно-климатических условий и степенью антропогенной нагрузки. В лесостепи Приобья интенсивное развитие эрозии обусловлено крупными

водосборами (435–654 тыс. га), которые сформированы на легкоразмываемых породах. Другой, очень важный аспект, связан с практикой землепользования. Согласно имеющимся данным разные формы сельскохозяйственного производства занимают от 50 до 80 % территории лесостепной зоны, что значительно больше, чем во многих крупных европейских странах. За время культивации общие потери углерода составили 29 % к исходному запасу.

Специальной задачей нашего исследования являлось изучение динамики запасов почвенного углерода в связи с особенностями развития эрозионных процессов на водосборных бассейнах лесостепи Приобья. По имеющимся материалам, с момента распашки до наших дней, потери углерода из пахотных почв за счет эрозии и дефляции составили 10 % от общих потерь. Основной вынос органического вещества происходит с талыми водами в многоснежные гидрологические годы. Однако, большая часть проведенных исследований имеет характер оценок, тогда как ключевым показателем в бассейновом пространстве является баланс твердого вещества – результат концентрирующегося потока цепочки процессов, протекающих гипсометрически сопряжено.

В качестве объекта исследования на территории Приобского плато бы выбран типичный водосборный бассейн, в пределах которого на локальном водосборе был заложен эталонный участок для выявления взаимосвязи между содержанием углерода и интенсивностью развития эрозионных процессов. В пределах ложбины стока по специально разработанной схеме нами было проведено определение запасов почвенного углерода на участках, имеющих максимально выраженные эрозионные и аккумулятивные формы (табл. 1).

Таблица 1. Среднестатистические запасы органического углерода, т/га

Глубина, см	Водораздел	Средняя и нижняя части склона	Подножие склона
0-10	33,6	24,0	34,1
10-20	12,6	4,5	35,2
20-30	12,4	4,1	25,4
30-40	11,8	3,3	15,8
40-50	8,3	3,3	14,9
50-60	5,7	2,2	6,3
70-80	3,0	2,5	6,9
90-100	2,8	2,4	5,3
Всего	90,2	46,4	143,9

Площади почв, в разной степени подверженных воздействию эрозии, получены на основе анализа цифровой модели рельефа, дистанционной информации и полевых обследований. В работе были использованы космические снимки высокого разрешения (15-30 метров), которые позволили по яркостным характеристикам в различных зонах спектра выявлять малые эрозионные формы.

На основе цифровой модели рельефа малого водосборного бассейна, полученной с помощью модулей Spatial Analyst и 3D Analyst ArcView и цифровых слоев топографических карт с гипсометрическими данными, получены площади деградированных в результате эрозионных процессов участков в зависимости от угла наклона поверхности, экспозиции склона и положения в рельефе (табл. 2).

Таблица 2. Описание топографических параметров

Категория эродированности почв	Угол наклона, град	Положение на склоне	Площадь почвенного выдела, га
ненарушенные	0-1	водораздел	2,7
слабо-и среднесмытые	1-5	верхняя и средняя части склона	9,5
сильносмытые	5-7	центральная часть ложбины стока	0,5
намытые	7-9	нижняя часть склона	4,0

Установлено, что концентрация углерода в отложениях новых осадочных масс находится в тесной корреляционной зависимости от скорости и интенсивности развития эрозионных процессов. Запас углерода, определяется содержанием органического вещества и площадью, которую занимают почвенные разности. В пределах исследованного водосбора, площадь которого составляет 16,7 га, большая часть углеродного бюджета (45 %) формируется намытыми почвами, занимающими четвертую часть общей площади. Содержание органического вещества в слабо- и среднесмытых почвах довольно низкое, но так как они занимают большую часть площади водосбора (60 %), то их вклад в общий запас довольно высок – 36 % от общего запаса. Ненарушенные почвы водораздела занимают 16 % и создают менее 20 % углеродного запаса. Подобным образом, на основе принципа замкнутости эрозионного баланса вещества в условиях естественных границ может быть проведено описание количественных соотношений компонентов баланса почвенного органического углерода, как в пределах бассейновой геосистемы в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Путилин А.Ф., Дитц Л.Ю., Кудряшова С.Я., Чичулин А.В., Шкаруба А.А. Принципы бассейновой концепции в исследовании почвенно-эрозионных процессов, запасов органического углерода в почвенном покрове лесостепи Приобья с использованием ГИС технологий.- Сибирский экологический журнал, № 5, 2007. – С. 741–751.
2. Ж.-Б. Вэй, Д.-Н. Дзяо, Д.-Й. Чжанг, Д.-Ю. Ли. Влияние рельефа и типа земель на пространственное распределение углерода органических веществ в почвах (на примере типичного локального водосборного бассейна в зоне черных почв северо-востока Китая). – Почвоведение, № 1, Январь 2008, С. 44–53.

3. Титлянова А.А., Кудряшова С.Я., Косых Н.П. Воспроизводство фитобиоты и почвенного органического вещества Природные ресурсы антропосферы: воспроизводство, стоимость, рента. – М.: Изд-во Янус-К, 2003. – С 110–136.

© С.Я. Кудряшова, Л.Ю. Дитц, А.Ф. Путилин, А.В. Чичулин,
А.М. Шкаруба, А.С. Чумбаев, Г.Ф. Миллер, 2008

УДК 502.22 517:519.8

И.Г. Вовк, В.И. Татаренко

СГГА, Новосибирск

ТЕХНОГЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

I.G. Vovk, V.I. Tatarenko

SSGA, Novosibirsk

TECHNOGENIC GEODYNAMICS AND ENGINEERING SYSTEMS SAFETY

The problem of safety in technogenic geodynamic systems is considered. It has been noted that this problem is multicriterion and multi-stage one.

Геодинамикой называют раздел наук о Земле, лежащий на стыке астрономии, геодезии и геофизики. Основная задача геодинамики – изучение геодинамических систем и происходящих в них геодинамических процессов. Классическим примером геодинамической системы служит система Солнце – Земля – Луна. Геодинамические процессы на планете Земля генерируются её взаимодействием с Солнцем, Луной и другими планетами Солнечной системы, а так же процессами, происходящими в недрах Земли и на её поверхности.

Строительство и эксплуатация инженерных сооружений нарушает равновесие, сложившееся в геодинамических системах, оказывает влияние на разнообразные процессы, протекающие в недрах Земли и на её поверхности, и генерирует множество разнообразных геодинамических явлений. Эти геодинамические процессы проявляются в локальных изменениях гравитационного поля Земли, в изменениях условий функционирования и существования технических систем (ТС), в движениях и деформациях земной поверхности и ТС и других явлениях. Геодинамические системы, в которых ощутима техногенная деятельность людей, называют техногенными геодинамическими системами, а геодинамические процессы, обусловленные техногенной деятельностью людей, – техногенными геодинамическими процессами.

Например, строительство и эксплуатация Саяно-Шушенской ГЭС привело к локальным изменениям гравитационного поля Земли в несколько миллигал (10^{-5} м/с²) и локальным изменениям направления отвеса до 1" [1]. Изменения гравитационного поля и вертикальные смещения земной поверхности происходят и в окрестности разрабатываемых рудных месторождений [2]. В Тюменском регионе на газовых месторождениях, определены вертикальные движения земной поверхности со скоростью 15 мм/год. Движения и деформации земной поверхности техногенного происхождения могут иметь

серьёзные последствия вплоть до угрозы безопасности состоянию ТС и пребывания людей в указанных районах.

В последнее время участились случаи возникновения техногенных катастроф и чрезвычайных ситуаций (ЧС), сопровождающиеся не только значительным материальным ущербом, но и человеческими жертвами и связанные с полным или частичным разрушением ТС. Причины возникновения ЧС разнообразны, но многие из них проявляются в движениях и деформациях ТС в целом или её частей. Разрушение многих сооружений можно было бы предвидеть при своевременном выполнении работ по наблюдению и анализу движений и деформаций технических систем.

Движения ТС – это изменения её положения в пространстве относительно принятой неизменной системы отсчёта, а деформации – движения частей системы относительно друг друга, сопровождающиеся изменениями формы и размеров всей ТС или отдельных её частей. Форма, размеры и положение в пространстве технической системы, отнесённые к некоторому моменту времени определяют её пространственно-временное состояние (ПВС), а функции, характеризующие ПВС системы – характеристики состояния. Для определения ПВС ТС необходимо наблюдение за характеристиками состояния. Для этого создают системы геодезического контроля ПВС, состоящие из конечного числа контрольных точек, координаты которых циклически определяются по результатам геодезических измерений. Количество и расположение контрольных точек выбирается так, чтобы обеспечить достижение цели – определение ПВС ТС с необходимой точностью и надёжностью.

Традиционно ПВС системы определяется по координатам контрольных геодезических точек $M_i, (i = \overline{1, n})$, полученным из обработки повторных циклов геодезических измерений, выполненных в фиксированные моменты времени $t_j \in [T_0, T], (j = \overline{1, m})$. Это значит [3, 4], что исходными данными для оценки, анализа и прогноза ПВС системы служат значения вектор – функций $\overline{r(t)}$, измеренные в точках M_i в моменты t_j , т.е.

$$\overline{r_{i,j}} = \overline{r_i(t_j)}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

На результаты наблюдений оказывают влияние разнообразные случайные помехи, интегральное описание которых представим как случайный некоррелированный процесс

$$\overline{\eta} = \overline{\eta(t)} \quad (2)$$

с нулевым средним и постоянной дисперсией равной дисперсии ошибок измерений. Тогда на основании (1), (2) запишем выражение

$$\overline{r_{i,j}} = \overline{r_i(t_j)} + \overline{\eta_i(t_j)}, \quad (3)$$

которое служит основой для определения математической модели ПВС ТС в пространстве, которое называют фазовым пространством (пространством состояний).

Спрашивается, как по результатам моделирования ПВС ТС оценить безопасность состояния ТС? Для ответа на этот вопрос на множестве состояний необходимо определить функцию, характеризующую опасность состояния. Ясно, что только по данным о ПВС или эволюции ПВС сооружения определить причины возникновения опасного состояния невозможно. Однако эти данные служат надёжным предвестником возможного возникновения опасного состояния. Вариантов решения задачи определения опасности ПВС ТС, отличающихся между собой ресурсами необходимыми для их реализации и условиями реализации, существует множество, да и само решение реализуется в виде последовательности решений, т. е. как многоэтапная, многошаговая процедура. Критериев оценки решения, как правило, множество. Поэтому, выбор наиболее полезного решения представляет собой многокритериальную и многошаговую задачу. В [5] рассмотрен моделирующий алгоритм решения таких задач. На рис. 1 дана геометрическая интерпретация данной задачи. На этом рисунке символами **A** и **K** обозначены начальное и конечное состояния ТС; тонким пунктиром – некоторые варианты перехода системы из существующего, начального состояния в желаемое, конечное состояние; жирным пунктиром ограничено пространство возможных состояний системы.

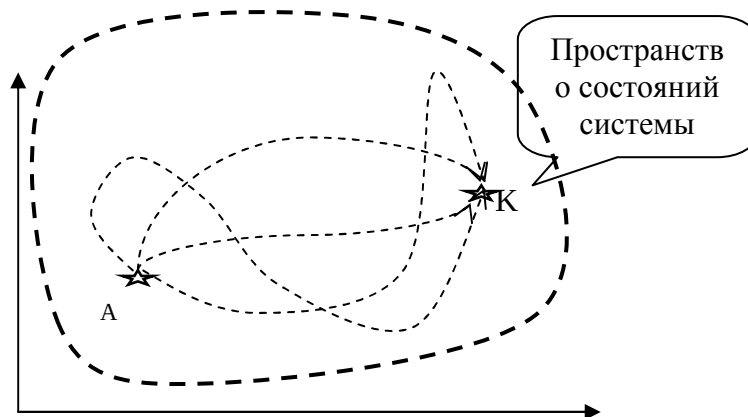


Рис. 1. Геометрическая интерпретация задачи выбора решения

Вариантов перехода системы из состояния **A** в состояние **K** множество. Из этого множества выбирают конечное подмножество вариантов и делят их на конечное число шагов (этапов) реализации. В результате получают представление вариантов состояния ТС в виде графа, как это показано на рис. 2. На этом графе вершины обозначают имена отдельных этапов вариантов решения; дуги – возможные пути реализации вариантов.

Для реализации каждого решения необходимы ресурсы (вещество, энергия, информация, пространство, время и т.д.), которые распределяются по этапам. Обычно наиболее полезным вариантом считается тот, который, обеспечивая достижение цели – обеспечение безопасности системы, требует для своей реализации меньше ресурсов. Функцию, которая позволяет оценивать

полезность вариантов, называют целевой функцией. В задачах выбора наиболее полезного варианта решения целевая функция – многокритериальная. При решении задачи безопасности систем критериями могут служить: вероятность перехода системы в опасное состояние, материальный ущерб для системы или/и окружающей среды из-за перехода системы в опасное состояние, размер области распространения опасности, продолжительность существования опасности или её последствий и другие.

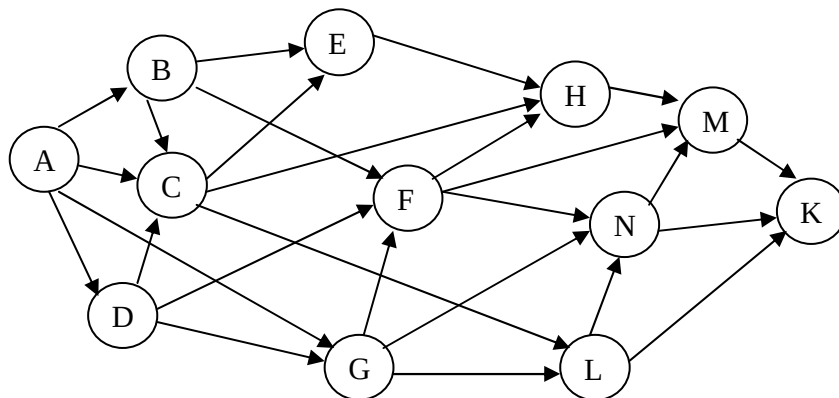


Рис. 2. Граф вариантов состояния ТС

В настоящее время для решения таких задач применяют методы математического программирования [6, 7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вовк И.Г. Вариации гравитационного поля при изменении уровня водохранилища // Геодезия и картография. – 1982, № 9. – С. 12–15.
2. Вовк И.Г., Горленко Н.М. Неприливные вариации силы тяжести в окрестности рудного месторождения // Повтор. Гравиметр. измерения. – М. 1984. – С. 78–79.
3. Бугакова Т.Ю., Вовк И.Г. Математическое моделирование эволюции объектов прикладной геодезии // Геодезия и картография. – 1999, № 11. С. 22–24.
4. Вовк И.Г. Математическое моделирование эволюции геофизических полей // Геодезия и картография, 1997, №8. С.8–11.
5. Вовк И.Г. К вопросу выбора оптимального варианта развития систем. Геосибирь – 2007. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 1: сб. матер. III Междунар. научн. Конгресса «ГЕО-Сибирь – 2007», 25–27 апреля 2007 г., Новосибирск. Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 88–91.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Сов. радио. 1972. – 522 с.
7. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: Учеб.2-е изд., доп. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с.

УДК 502.22 517:519.8

И.Г. Вовк

СГГА, Новосибирск

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

I.G. Vovk

SSGA, Novosibirsk

SYSTEM ANALYSIS AND MODELING OF TECHNICAL SYSTEMS SPACE-TIME STATE

The changes in space-time state of the technical systems are considered as the sum of translational, rotary and deformation motions with noises. The method for determination of such types of motion by the results of the repeat geodetic measurements is offered by the author.

В последнее время участились случаи возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), сопровождающиеся не только значительным материальным ущербом, но и человеческими жертвами и связанные с полным или частичным разрушением технических систем (ТС). Причины возникновения ЧС разнообразны, но многие из них проявляются в движениях и деформациях сооружения в целом или его частей. Анализируя движения и деформации сооружения, можно судить о его состоянии, оценивать опасность этого состояния и принимать необходимые меры для снижения риска и ущерба от возникновения ЧС. Разрушение многих сооружений можно было бы предвидеть при своевременном выполнении работ по наблюдению и анализу движений и деформаций ТС.

Движения сооружения – это изменения его положения в пространстве относительно принятой неизменной системы отсчёта, а деформации – движения частей системы относительно друг друга, сопровождающиеся изменениями формы и размеров всего сооружения или отдельных его частей. Форма, размеры и положение в пространстве ТС, отнесённые к некоторому моменту времени определяют её пространственно-временное состояние (ПВС), а функции, характеризующие ПВС системы – характеристики состояния. Например, пространственно-временными характеристиками состояния сооружения могут служить координаты контрольных точек сооружения, расстояния между ними, углы между направлениями векторов, связанных с контрольными точками, уравнения линий и поверхностей, описывающих форму сооружения, площади частей поверхности сооружения и другие функции, определённые на множестве контрольных точек. Целенаправленное объединение этих характеристик в систему определяет пространственно-временное состояние сооружения. Ясно,

что только по данным о ПВС или эволюции ПВС сооружения определить причины возникновения опасного состояния невозможно. Однако эти данные служат надёжным предвестником возможного перехода сооружения из безопасного или неопределённого состояния в опасное состояние и обосновывают необходимость выявления физических причин такого перехода.

Изменения ПВС сооружения складывается из его движения как неизменного целого (абсолютно твёрдого тела) и движения его частей относительно друг друга. Обозначим $\overline{R1(t)}$ – вектор функцию координат произвольной точки сооружения, рассматриваемого как абсолютно твёрдое тело (АТТ), $\overline{R2(t)}$ – вектор функцию координат той же произвольной точки сооружения, обусловленную его отличием от АТТ и запишем

$$\overline{R(t)} = \overline{R1(t)} + \overline{R2(t)}. \quad (1)$$

Как известно [1], движение АТТ рассматривается как сумма поступательного движения тела и вращения тела вокруг оси проходящей через произвольную фиксированную точку тела и представляется уравнением

$$\overline{R1(t)} = \overline{rO(t)} + \overline{rB(t)}, \quad (2)$$

где $\overline{R1(t)}$ – вектор – функция координат произвольной точки тела относительно неизменной системы отсчёта (А); $\overline{rO(t)}$ – вектор – функция координат некоторой фиксированной точки О тела, называемой полюсом, относительно неизменной системы отсчёта (А); $\overline{rB(t)}$ – вектор – функция координат точки тела относительно системы отсчёта (В) с началом в точке О тела, двигающейся вместе с телом.

Традиционно ПВС системы определяется по координатам контрольных геодезических точек $M_i, (i = \overline{1, n})$, полученным из обработки повторных циклов геодезических измерений, выполненных в фиксированные моменты времени $t_j \in [T_0, T], (j = \overline{1, m})$. Это значит, что исходными данными для оценки, анализа и прогноза ПВС системы служат значения вектор – функций $\overline{R(t)}$, измеренные в точках M_i в моменты t_j , т. е.

$$\overline{R_{i,j}} = \overline{R_i(t_j)}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

На результаты наблюдений оказывают влияние разнообразные случайные помехи, интегральное описание которых представим как случайный некоррелированный процесс

$$\overline{\eta} = \overline{\eta(t)} \quad (4)$$

с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией равной дисперсии ошибок измерений, значения которого в точке с номером i и цикле с номером j примем

$$\overline{\eta_{i,j}} = \eta_i(t_j). \quad (5)$$

На основании изложенных обстоятельств можно утверждать, что измеренные значения радиусов векторов контрольных точек можно представить моделью

$$\overline{R_{i,j}} = \overline{rO_j} + \overline{rB_{i,j}} + \overline{R2_{i,j}} + \overline{\eta_{i,j}}. \quad (6)$$

Первое два слагаемых в уравнении (6) описывают движение системы как абсолютно твёрдого тела, которое представляется суммой поступательного движения тела и вращательного движения около оси, проходящей через некоторую точку тела, выбранную в качестве полюса. При этом направление оси вращения и величина угла поворота не зависят от выбора полюса [1]. Следовательно, для определения движения абсолютно твёрдого тела необходимо по данным измерений найти характеристики поступательного движения тела и изменения координат контрольных точек из-за вращения тела относительно полюса.

Плоскость P , проходящая через три любые точки АТТ, будет двигаться, как и рассматриваемое абсолютно твёрдое тело. Среди множества таких плоскостей существует единственная плоскость, векторная сумма расстояний контрольных точек от которой равна нулю и поэтому её уравнение может быть принято в качестве математической модели такого движения.

Как известно, положение плоскости в пространстве определяется направлением нормали к этой плоскости и радиусом вектором произвольной точки плоскости, которую назовём опорной точкой. Эти характеристики плоскости и являются искомыми параметрами математической модели движения системы, рассматриваемой как абсолютно твёрдое тело. Радиус вектор опорной точки найдём, как средневзвешенную сумму радиусов векторов контрольных точек. В качестве полюса O_j выберем точку плоскости, радиус вектор которой $\overline{rO_j}$ совпадает по направлению с орт – вектором $\overline{n_j}$ нормали к плоскости, а длина равна расстоянию плоскости от начала координат системы отсчёта (A). Направление нормали (орт вектор $\overline{n_j}$) к плоскости определим так, чтобы векторная сумма отклонений контрольных точек от плоскости была равна нулю. Такие плоскости определим для каждого цикла измерений. Подробно решение этой задачи рассмотрено в [2]. Разность

$$\overline{rO_j} - \overline{rO_1} = \overline{\Delta r_j} \quad (7)$$

определяет движение ТС как абсолютно твёрдого тела за период времени между первым и j – м циклами измерений.

При поступательном движении все точки абсолютно твёрдого тела описывают одинаковые траектории относительно некоторого направления, например, направления вектора $\overline{rO_1}$, орт-вектор которого есть $\overline{n_1}$, и поэтому достаточно найти такое движение для одной произвольной точки тела, например для точки O_j . Для этого необходимо вектор $\overline{\Delta r_j}$ спроектировать на вектор $\overline{rO_1}$.

Чтобы определить изменения координат точек из-за вращения АТТ, определим систему отсчёта (В). Направление оси аппликат pz_j этой системы примем совпадающим с направлением $\overline{n_j}$, направление оси абсцисс и оси ординат определим выражениями

$$\begin{aligned}\overline{px_j} &= \overline{pz_j} \times \overline{k}, \\ \overline{py_j} &= \overline{pz_j} \times \overline{px_j},\end{aligned}\quad (8)$$

где $\overline{k}$ – орт вектор оси аппликат системы отсчёта (А).

При вращении АТТ координаты его точек относительно системы отсчёта (В) не изменяются и поэтому

$$\overline{rB_{i,j}} = (\overline{R_{i,1}} - \overline{RO_1}) \cdot W_j, \quad (9)$$

где W_j – матрица, составленная из векторов px_j, py_j, pz_j . В цикле с номером j координаты точек системы, рассматриваемой как абсолютно твёрдое тело, вычислим по формуле

$$\overline{R1_{i,j}} = \overline{RO_j} + \overline{RB_{i,j}} \quad (10)$$

и далее найдём изменения $\overline{d_{i,j}}$ координат точек ТС, обусловленные отличием технической системы от АТТ

$$\overline{d_{i,j}} = \overline{R2_{i,j}} + \overline{\eta_{i,j}} = \overline{R_{i,j}} - \overline{RO_j} - \overline{rB_{i,1}}. \quad (11)$$

Значения $\overline{d_{i,j}}$, вычисленные по этой формуле, зашумлены случайными помехами, интегральное описание которых даёт формула (4) или (5).

Таким образом, задача определения движений и деформаций ТС по результатам геодезических измерений решена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: В 2-х томах. Т. 1. Статика и кинематика. – *-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 352 с.
2. Бугакова Т.Ю., Вовк И.Г., Олейник А.М. Оценка безопасности состояния объектов хранения нефти по геодезическим данным. Тюмень. Известия вузов. Нефть и газ. 2007. № 2. – С 95–99.

© И.Г. Вовк, 2008

УДК 502:630

Ю.Ю. Иванова

СГГА, Новосибирск

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ЭКОЛОГО–ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Yu.Yu. Ivanova

Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

PECULIARITIES OF WOODSPECIES PHENOTYPIC SIGNS DETERMINATION FOR ECOLOGICAL AND GENETIC INVESTIGATIONS

Analysis of ecological and genetic investigations methods has been carried out. The author shows that phenotypic signs are very important among all the analyzed characteristics. To find these signs, nature objects determinations are made by means of the simplest measuring devices. The process is very laborious and doesn't always allow to determine all the necessary characteristics. Aerial and aerospace photography as well as laser scanning are modern methods which make it possible to acquire forest cover characteristics. For local examinations ground-based digital stereo photography may also be used.

В настоящее время лес, как компонент биосферы, приобретает исключительно важное значение не только как источник древесины и других продуктов, но и как стабилизатор природной среды. Ухудшение состояния лесов и постоянно увеличивающийся спрос на ценные древесные породы привели к необходимости решения проблем сохранения и улучшения лесов.

Для повышения продуктивности лесов в значительной степени используются методы селекции и генетики лесных древесных пород. При селекционных работах наиболее важным и решающим процессом является отбор, от которого зависит результативность селекции. Один из основных приёмов селекции – проведение искусственного отбора, направление которого порой совпадает с направлением естественного отбора (например, при селекции на быстроту роста в оптимальных условиях). Естественный отбор происходит в природе без вмешательства человека под влиянием условий внешней среды. Искусственный отбор – комплекс приёмов, используемых человеком с целью создания новых форм растений, разведение которых повышает продуктивность и качество лесов. При искусственном отборе используются растения, которые проходили естественный отбор в течение тысячелетий. Из природных популяций хозяйственно – ценные насаждения и деревья отбираются по фенотипическим признакам (высота, форма ствола, развитие кроны, очищение ствола от сучьев, смолопродуктивность, устойчивость к неблагоприятным

факторам среды и т. п.). Они являются исходной генетической базой для последующей селекции на основе подбора пар и скрещивания.

Научной основой селекции является генетика. Поскольку хозяйственно-ценные признаки чаще относятся к категории «количественных», для которых характерны экологическая лабильность и сложная (полигенная) генетическая обусловленность, то при изучении этих признаков чаще применяют методы биометрической генетики. Они основаны на изучении изменчивости в группах особей известной степени родства – например, клонов, выращиваемых в контролируемых экологических условиях. Для вычленения генетических эффектов из общей дисперсии признаков применяют дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализы [1, 2]. Например, при испытании клонов методом однофакторного дисперсионного анализа можно расчленить дисперсию селектируемого признака – высоты ствола – на меж- и внутриклоновый компоненты. Поскольку деревья (раметы) одного клона имеют одинаковый генотип, то межклоновые различия отражают генотипические, а внутриклоновые – экологические различия между деревьями. Доля межклонового компонента в общей дисперсии будет отражать долю генотипической изменчивости в общей дисперсии, или наследуемость в широком смысле слова H^2 . Чем выше H^2 признака, тем результативнее может быть селекция на этот признак.

В отдельную группу выделяют методы экспрессной оценки эколого-генетической изменчивости. Их особенность заключается в получении необходимых параметров в популяциях лесообразующих видов, не требующих смены поколений.

Наиболее простой – так называемый метод эталонов. В качестве эталона выбирают какой-либо генетически однородный материал, например клон. Поскольку в нем генотипическое разнообразие отсутствует, то вся наблюдаемая в такой совокупности фенотипическая изменчивость является паратипической дисперсией. Далее принимают, что паратипическая дисперсия в изучаемой популяции равна таковой в эталоне, после чего нахождение генотипической дисперсии и наследуемости не составляет труда. Метод эталонов не может быть рекомендован для широкого применения в исследовательских работах, так как эти два требования практически не выполнимы [1, 3].

Особое внимание многих исследователей длительное время привлекал метод, разработанный Шрикганди [4]. Этот метод основывается на предположении, что средовая дисперсия определяется преимущественно почвенным плодородием и подчиняется закономерности Смита [5].

Анализ метамерной изменчивости основан на метамерном (внутри - кронном) строении деревьев, что теоретически создаёт возможность оценки нормы реакции генотипа дерева как на динамику погодных условий, так и на микрофлуктуации экологических условий внутри кроны. Наиболее перспективные из них основаны на изучении линейного и радиального приростов древесины в связи с многолетней динамикой метеофакторов [6].

Метод фоновых признаков в отличие от всех других дает возможность оценить не только популяционные параметры – генотипическую изменчивость и наследуемость, но и получить информацию о генотипическом отклонении признака любой отдельно взятой особи. Метод фоновых признаков, помимо целей генетического анализа, может быть использован для решения другой важной группы задач, связанных с теорией отбора у растений, а именно: для идентификации генотипов по фенотипам [6, 7, 8].

Совершенно новый подход применяемый для анализа изменчивости количественных признаков – геномный. Геномика – это изучение генов и их функций с помощью современных методов молекулярной генетики. Популяционно-геномный анализ позволяет, например, обнаружить гены, находящиеся под сильным влиянием отбора, и исключить их из анализа демографических или исторических процессов. С другой стороны, адаптивные гены, находящиеся под давлением отбора, наиболее интересны для целей селекции.

Необходимо отметить, что популяционно-геномный подход позволяет использовать информацию, полученную на модельных видах, в исследованиях немодельных древесных видов. Интегрированный популяционно-геномный подход, предложенный для изучения адаптивной изменчивости, позволит расшифровать эффекты конкретных генов и аллелей на адаптивные признаки, установит причинную связь между генотипом и фенотипом и составит основу природоохранной стратегии нового поколения [9].

Перечисленные методы различаются подходами к проведению исследований генетической изменчивости. Но и в том, и в другом случае нельзя обойтись без изучения изменчивости фенотипических показателей. У древесных представляет интерес изучение изменчивости таких признаков, как высота, диаметр ствола (на высоте 1.3 м), ширина кроны (среднее из двух поперечных замеров), угол ветвления (по 3 частям кроны по её высоте) с точностью 10°, длина и диаметр осевых и боковых побегов, размер хвои (длина, толщина, ширина), размеры генеративных органов (длина, ширина) и др. Общепринятые методы их определения представлены в работе [10].

Традиционно при генетико-селекционных исследованиях измерения проводятся при помощи стандартных измерительных приборов и методик (рулетка, линейка, штангенциркуль и др.), что требует значительных затрат труда и времени [10, 11].

Средние показатели особи получают на основе суммирования выборок с различных частей кроны и расчета для них средневзвешенного значения. С этой целью крона делится на 3 яруса по высоте и на 2 части по ориентации ее по странам света (северная и южная). Из каждой части берутся осевые побеги и измерения делаются на побегах одинакового порядка и возраста. Количество побегов определяется уровнем изменчивости признаков. При низкой величине уровня изменчивости нужно иметь не менее 15 отдельных измерений, при среднем – не менее 40, при высоком – не менее 100 (при точности 3 %).

После получения материалов о параметрах признаков отдельных особей производится оценка взаимосвязей между ними. При анализе изменчивости в природных популяциях рассчитываются коэффициенты корреляции и корреляционные отношения отдельно для каждой пробной площади. Затем вычисляется средняя величина для группы типов леса. На основании данных о корреляции признаков предварительно определяются косвенные показатели, по которым следует вести отбор на хозяйственно ценные признаки [10].

К современным средствам, обеспечивающим получение характеристик о лесном покрове, относятся аэрокосмические съёмки и системы лазерного сканирования. Достаточно широкое применение аэросъёмка для целей лесной таксации и мониторинга леса нашла уже в 70-е годы прошлого века. При этом были разработаны методы проведения съёмки и приёмы обработки снимков для определения высот деревьев, формы крон и т. д. [12].

Таким образом, материалы крупномасштабной аэрофотосъёмки способны обеспечить получение ряда количественных данных для определения фенотипических признаков, необходимых для эколого-генетических исследований. В последние годы активно внедряют цифровые съёмочные системы и методы анализа цифровых изображений, за счёт этого расширяются возможности получения количественных характеристик.

В работах выполненных ранее в России и за рубежом, установлено, что по лазерно-локационным данным, крупно- и среднемасштабным аэрофотоснимкам и материалам космического зондирования структура, запасы и фитомасса древостоев определяется достаточно точно при использовании регрессионных зависимостей с их морфометрическими показателями и отражательными свойствами полога.

Отличием лазерной локации от классической аэрофотосъёмки является то, что лазерный луч, проникая сквозь полог леса до самой земли, сканирует все яруса растительности с высокой плотностью (от 5 до 10 и более лазерных точек сканирования на 1 кв. м.), позволяя получать трехмерные изображения отдельных деревьев с высокой точностью. Полученный «лазерный портрет древостоя» позволяет наблюдать его на экране монитора с любой точки, произвольно меняя проекции (ракурсы) изображения, что очень важно, в частности, для анализа морфологической и пространственной структуры насаждений.

При воздушной лазерной съёмке достигается «сантиметровая» точность измерения геометрических параметров деревьев, которая сопоставима только с наземными инструментальными измерениями на пробных площадях, при этом уровень производительности очень высокий.

Материальные затраты по сбору данных и моделированию объекта методами трехмерного наземного лазерного сканирования на небольших участках и объектах сопоставимы с традиционными методами съёмки, а на участках большой площади или протяженности – ниже [13]. Следовательно, системы лазерного сканирования могут эффективно использоваться в эколого-генетических исследованиях.

Следует отметить что, широкий спектр космических снимков, получаемых, с современных спутников позволяет получать значительное количество информации о растительном покрове, но полный набор фенотипических признаков практически не возможен. Однако, при исследованиях локальных площадок, в частности лесосеменных плантаций Озёрского лесхоза в Алтайском крае, целесообразнее применять наземную цифровую стереосъемку [14]. Стереомодели, формируемые по материалам такой съемки, способны обеспечить всестороннее и детальное изучение различных фенотипических характеристик древесных растений и обеспечивают наглядное представление результатов исследований компьютерными средствами.

Опыт применения материалов цифровой наземной стереосъемки для получения количественных признаков сосны на лесосеменной плантации Озёрского лесхоза в Алтайском крае показал ее эффективность, хотя в некоторых случаях возникают трудности проведения стереосъемки с необходимыми параметрами [15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рошаль, И.Д. Генетический анализ количественных признаков / И.Д. Рошаль // Пути генетического улучшения лесных древесных растений. – М.: Наука, 1985. – С. 35–49.
2. Драгавцев, В.А. Основные методы оценки наследуемости у растений / В.А. Драгавцев // Генетические методы в селекции растений. – М.: Колос, 1974, С. 163–177.
3. Выбор эталонов при определении коэффициентов наследуемости / П.Я. Голодрига и др. // Практикум по прикл. ботанике, генетике и селекции ВНИИ растениеводства. – 1975. – Т. 54, № 2. – С. 128–31.
4. Srikhande, V.J. Some considerations in designing experiments on coconut trees / V.J. Srikhande // J.Ind.Soc.Agr.Stat., 1957, vol. 7, p. 82–89.
5. Рашаль, И.Д. Критический анализ применимости метода Шрикганди в генетике количественных признаков растений / И.Д. Рашаль, С.П. Мартынов // Изв. АН Латв. ССР. – 1979. – № 10. – С.111–126.
6. Dragavtsev, V.A. Algorithms of an ecologo-genetical survey of the genofond and methods of creating the varieties of crop plants for yield, resistance and quality / V.A. Dragavtsev // Methodical recommendations. New approaches. St.Peterburg: VIR, 2002. 41 p.
7. Драгавцев, В.А. Феногенетический анализ изменчивости в растительных популяциях / В.А Драгавцев // Вестн. АН КазССР. – 1963. – № 10. – С. 33–42.
8. Драгавцев, В.А. Проблема идентификации генотипов по фенотипам по количественным признакам в растительных популяциях / В.А. Драгавцев, Дьяков А.Б // Генетика. – 1982. – Т. 18, № 1. – С. 84–89.
9. Крутовский, К.В. От популяционной генетики к популяционной геномике лесных древесных видов: интегрированный популяционно –

геномный подход / К.В. Крутовский // Генетика. – 2006. – Т.42. – № 10. – С. 1304–1318.

10. Методика изучения внутривидовой изменчивости древесных пород / А.И. Ирошников и др. – М., 1973. – 31 с.

11. Правдин, Л.Ф. Сосна обыкновенная (изменчивость, внутривидовая систематика и селекция) / Л.Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 189 с.

12. Исаев, А.С. Аэрокосмический мониторинг лесов / В.И. Сухих, Е.Н. Калашников. – М.: Наука, 1991. – 240с.

13. Лазерная локация Земли и леса: Учеб. пособие / И.М. Данилин и др. – Красноярск: Ин. леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. – 182 с.

14. Трубина, Л.К. Стереомодели в изучении биологических объектов: монография / Л.К. Трубина. – Новосибирск: СГГА, 2006. – 136 с.

15. Анализ изменчивости количественных признаков сосны обыкновенной по цифровым изображениям / В.В. Тараканов, Л.К. Трубина, Ю.Ю. Иванова, Е.В. Зинин // ГЕО-Сибирь-2007. Т.3. Дистанционные методы зондирования земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: сб. материалов междунар. науч. конгр., 25 – 27 апр. 2007 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 352–355.

© Ю.Ю. Иванова, 2008

УДК 528.8:556.55

К.В. Марусин¹, Н.М. Ковалевская¹, Е.А. Фёдорова¹, М.С. Порозова²

¹ ИВЭП СО РАН, Барнаул

² АлтГУ, Барнаул

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОДОХРАНИЛИЩА

K.V. Marusin¹, N.M. Kovalevskaya¹, E.A. Fedorova¹, M.S. Porozova²

¹ Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS), Barnaul

² Altai States University (ASU), Barnaul

USE OF SATELLITE IMAGE DATA AND GIS FOR THE STATE AND DYNAMICS ANALYSIS OF THE RESERVOIR COASTAL ZONE

A high-resolution multi-spectral Iconos satellite image is used to study a 7-km coast line section of the Novosibirsk reservoir. It is shown that eroded and stable parts of the coast can be easily recognized from the image. Also the stability of coastal protection structures can be evaluated. The long-term coast line evolution rate is estimated by comparing the recent satellite image with the old large-scale topographic maps for that site. Pattern recognition methods applied reveal nearshore zones with different depths and bed slopes.

Использование данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий открывает широкие возможности для оценки состояния берегов крупных водных объектов. В статье рассмотрен опыт использования таких данных для оценки и анализа одного из участков береговой зоны Новосибирского водохранилища.

Рассматривается участок правого берега, расположенный в приплотинной широкой части Новосибирского водохранилища на расстоянии 18 км от плотины, в районе села Сосновка. Участок сложен преимущественно суглинистыми и супесчаными грунтами.

Основой для анализа является мультиспектральный снимок Iconos со следующими характеристиками: панхром: 0,445 - 0,9 μm , разрешение 1 м; ближний ИК: 0,76-0,90 μm ; разрешение 4 м; голубой (B): 0,45-0,52 μm , разрешение 4 м; зеленый (G): 0,52-0,61 μm , разрешение 4 м; красный (R): 0,64-0,72 μm , разрешение 4 м. Снимок сделан 18 июля 2004 г. в 10:30 по местному солнечному времени при абсолютной отметке уровня водохранилища, соответствующей нормальному подпорному уровню (НПУ) – 113.5 м БС. Метеоусловия в момент съемки по данным срочных наблюдений на ближайшей

метеостанции, расположенной в районе плотины водохранилища (ГМО «Обская»): ясно, штиль (скорость ветра менее 1 м/с).

Синтезированное изображение (панхром + RGB) позволяет точно идентифицировать современное положение береговой линии и оценить текущее состояние берега с четким выделением его разрушающихся и стабильных участков (рис. 1).

Так, например, на рис. 1 хорошо выделяется светлая полоса отмели перед абразионным уступом разрушающегося берега к северо-востоку от залива (рис. 2А). Перед относительно стабильными берегами (естественными и укрепленными каменной наброской) такая отмель отсутствует (рис. 2Б).

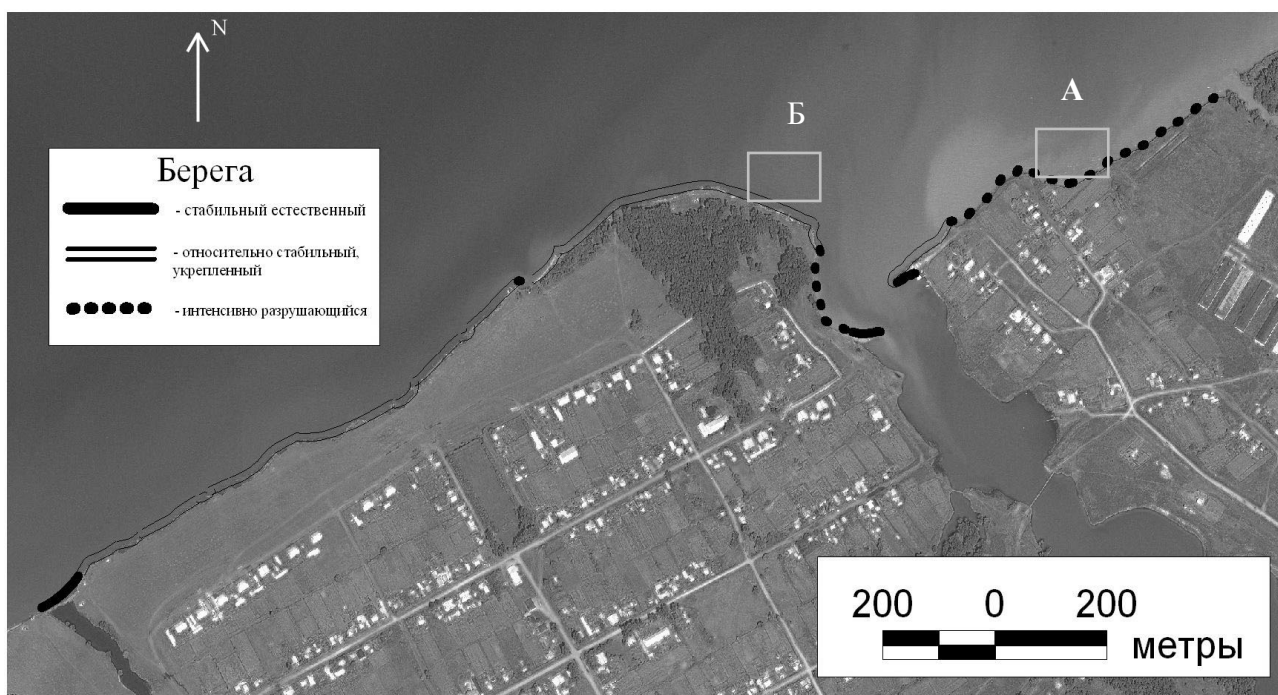


Рис. 1. Общий вид исследуемого участка с указанием типов берегов. А – интенсивно разрушающийся берег, см. рис. 2А; Б – относительно стабильный берег, см. рис. 2Б



Рис. 2. А – активно разрушающийся берег, Б – относительно стабильный берег

Кроме того, с помощью снимка можно оценивать текущее состояние берегозащитных сооружений. На нем, например, хорошо просматриваются «бреши» (рис. 3), образовавшиеся в каменной наброске, прикрывающей участок берега, южнее залива. Разрешение снимка позволяет не только выявить такие участки, но и оценить их протяженность по фронту и в глубину.

Сопоставление снимка с картографическими материалами и данными полевых наблюдений разных лет позволяет оценить динамику берега на данном участке за длительный период. При этом были использованы топографические карты 1962 г. масштабом 1 : 25 000, топографические карты 1978 г., масштабом 1 : 10 000 (на всех картах линия уреза проходит при отметке НПУ – 113.5 м БС), и данные инструментальных съемок 2001, 2005, 2007 годов. Таким образом, нами была прослежена динамика изменения береговой линии на данном участке за 45 лет. Результаты представлены на рис. 4 и в табл. 1.

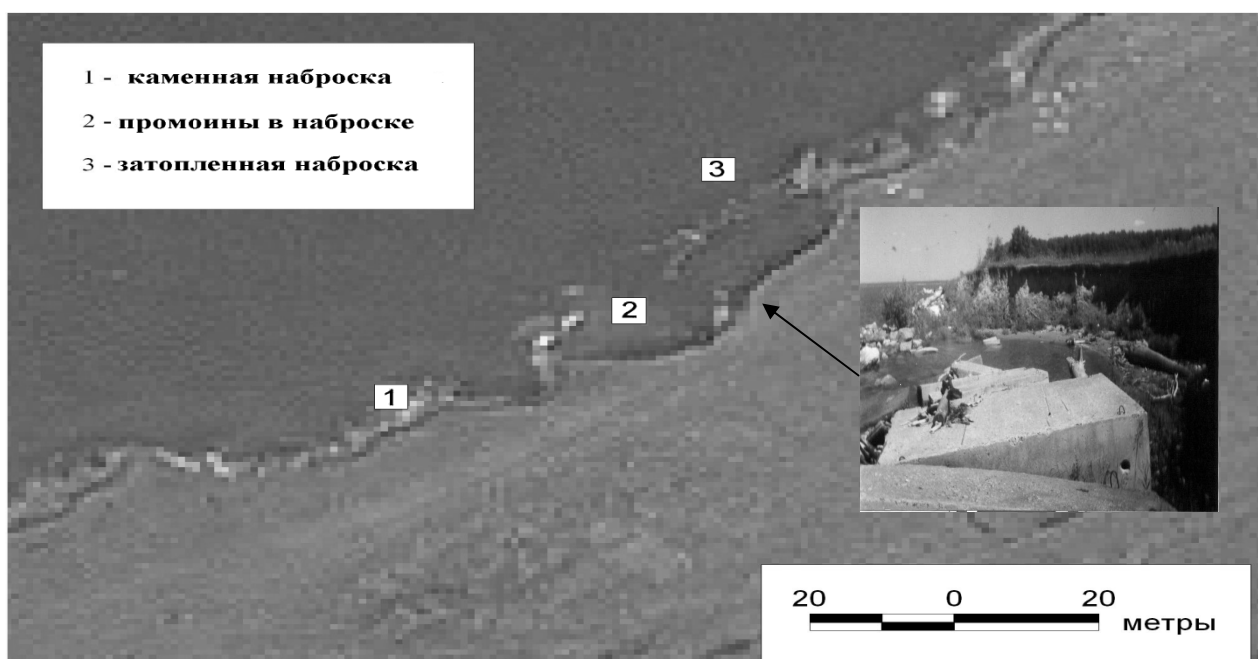


Рис. 3. Промоины в каменной наброске

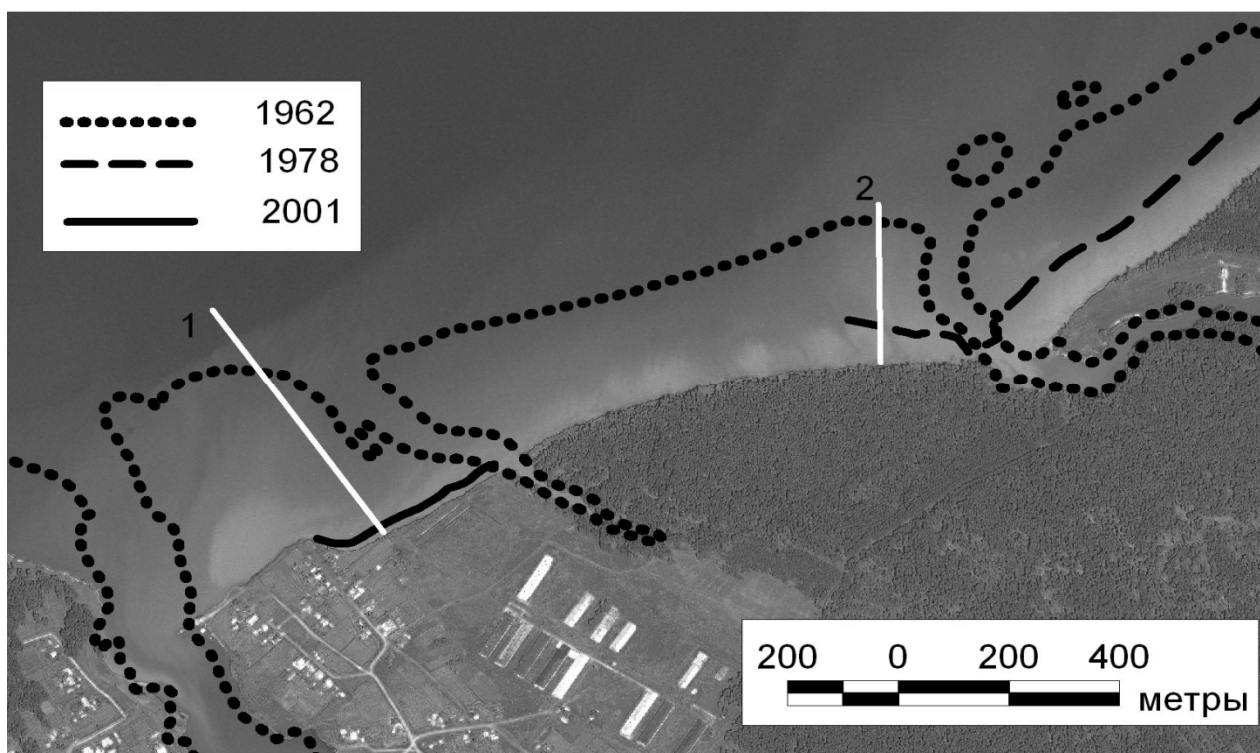


Рис. 4. Положение береговой линии при отметке НПУ 113,5 м в разные годы

Таблица 1. Таблица отступления берега от линии уреза 1962 г. по профилям № 1 и № 2(см. рис. 4)

Профиль № 1		Профиль № 2	
Годы	Расстояние, м	Годы	Расстояние, м
2001	424,9	1978	209,6
2004	449,1	2004	296,7
2007	450,0		

Полученные данные свидетельствуют о прогрессирующем снижении интенсивности процессов переработки берегов и вполне согласуются с данными предыдущих исследований [2, 3]. Из рис. 4 также видно, что береговая линия отступает параллельно самой себе. Это, по-видимому, свидетельствует о том, что на данном участке доминирующим процессом переработки до сих пор (по истечению более 50 лет после заполнения водохранилища) остается процесс формирования поперечного профиля берега, а не перестройки береговой линии в плане. Такая ситуация характерна для суглинистых берегов, имеющих дефицит рыхлого материала необходимой крупности для выработки равновесного профиля [1, 2].

Классификация с обучением, выполненная в среде Erdas Imagine 9.0, позволила выделить несколько зон (классов) на акватории береговой зоны, визуальнo не определяемых на синтезированном снимке (рис. 5).

Использовались следующие алгоритмы – метод параллелепипеда и метод максимального правдоподобия [4].

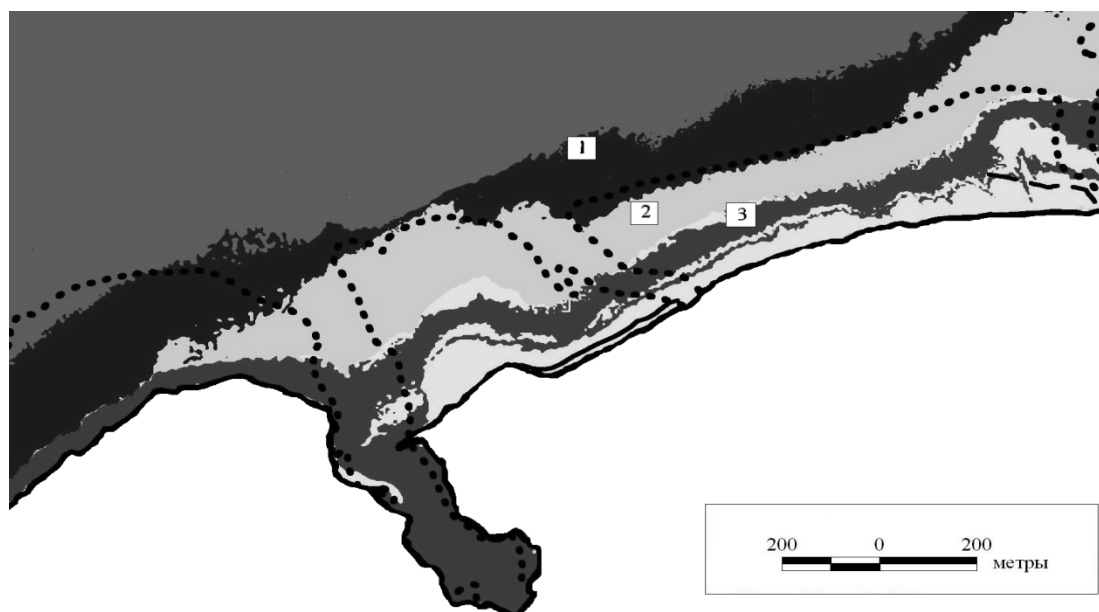


Рис. 5. Классификация в Erdas Imagine; 1, 2, 3 – выделенные зоны (классы)

Сопоставление данной классификации с данными промерных работ, проведенных в 2001, 2005 гг., а также топографическими материалами прошлых лет (1962, 1978), позволяют выявить сущность выделенных формальными методами классов.

В таблице 2 представлены характерные значения глубин по выделенным зонам, а на рис. 6 профиль подводного берегового склона.

Таблица 2. Средние ($h_{ср}$), минимальные ($h_{мин}$), максимальные ($h_{макс}$) значения глубины при НПУ и их СКО (σ) по выделенным зонам (рис. 5)

Зона	$h_{ср}, м$	$h_{мин}, м$	$h_{макс}, м$	$\sigma, м$
1	1,89	1,6	2,1	0,16
2	1,7	1,3	2,0	0,27
3	1,2	0,3	1,7	0,28

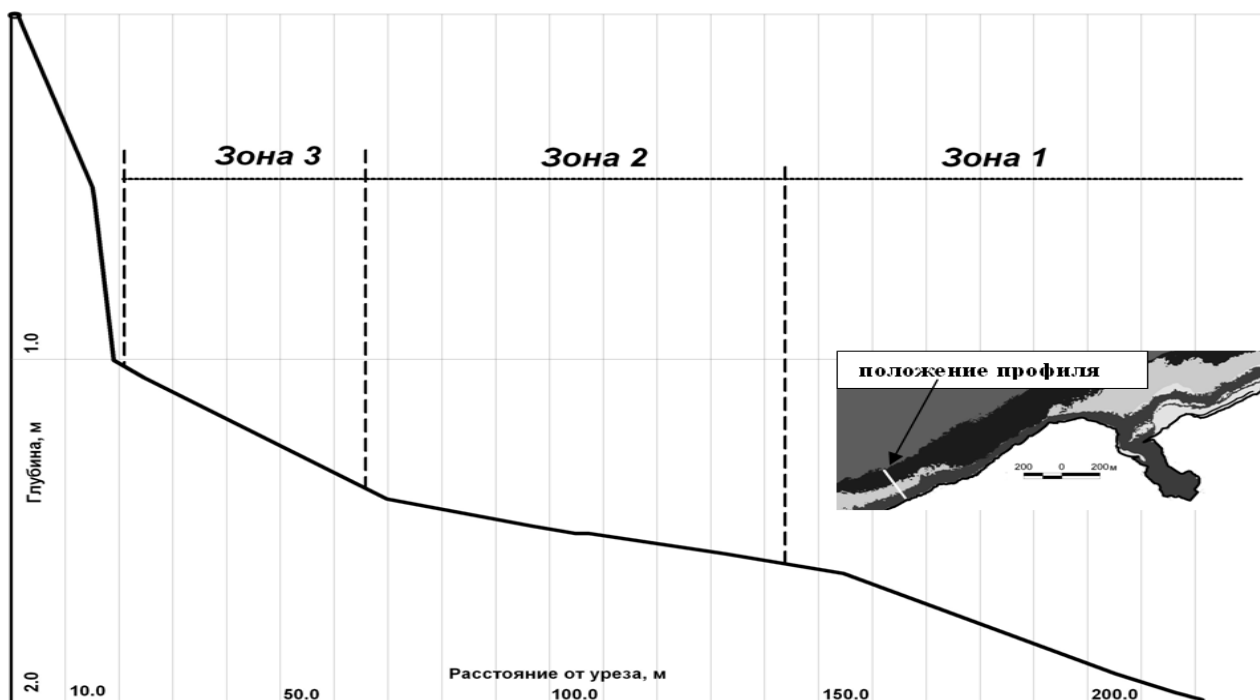


Рис. 6. Профиль подводного берегового склона с границами выделенных зон

Как видно из приведенных выше данных, выделенные зоны соответствуют участкам береговой зоны водоема с характерными, весьма отличными друг от друга глубинами и уклонами дна. Следует также указать на то, что внешняя (мористая) граница зоны 1 располагается вблизи свала глубин до отметок 5–6 м.

При выполнении данной работы использовались следующие лицензионные программные средства: ArcGIS 9.2 с модулем расширения 3D Analyst и Erdas Imagine 9.0.

Авторы выражают глубокую благодарность д.г.н., проф. В.М. Савкину. Без его методической, теоретической и организационной поддержки изложенные здесь результаты не были бы получены.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика [Текст]. – М.: КДУ, 2007. 440 с.
2. Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири [Текст]. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 152 с.
3. Формирование береговой зоны Новосибирского водохранилища [Текст]. / Отв.ред. С.Г. Бейром, В.М. Широков. – Новосибирск, 1968. – 196 с.
4. Erdas Imagine. Практическое руководство Tour Guides [Текст]. Перевод компании ДАТА+. – 2007. – Copyright © 2005 Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC. – Norcross, Georgia. – 707 с.

В.Н. Макеев, С.В. Пикунов

Департамент охраны окружающей среды и экологической безопасности Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, г. Ханты-Мансийск

В.А. Середович

СГГА, Новосибирск

РОЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ

V.N. Makeyev, S.V. Pikunov

Department of environmental management and ecological security, the Khanty-Mansi autonomous area – Yugra, Khanty-Mansiysk

V.A. Seredovitch

Siberian State Academy of Geodesy

THE ROLE OF COMPLEX ECOLOGICAL MONITORING IN A SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE KHANTY-MANSI AUTONOMOUS AREA – YUGRA

Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию, утвержденная Указом Президента Российской Федерации в 1996 году, определяет устойчивое развитие, как объективное требование времени. При этом под устойчивым развитием понимается развитие общества, при котором воздействие на окружающую среду остается в пределах хозяйственной емкости биосферы, без разрушения природной основы для воспроизводства жизни человека.

Для России большое значение имеет региональный аспект устойчивого развития. В этой связи необходима разработка и реализация программ перехода к устойчивому развитию для каждого региона, а также дальнейшая интеграция этих программ при разработке государственной политике устойчивого развития.

В настоящее время уровень нарушенности природных ландшафтов в районах нефтегазодобычи на территории автономного округа достиг такой фазы, когда дальнейшее хозяйственное освоение региона без всестороннего учета экологических требований грозит не только снижением количества и качества углеводородного сырья, связанного с колоссальными материальными потерями для его производителей и потребителей, но и перерастанием регионального экологического кризиса в глобальный социально-экономический и политический, поскольку коммуникации, обеспечивающие транспортировку нефти и газа связывают не только территории регионов Российской Федерации, но и территории других государств [1].

Необходим учет местных особенностей региона, в частности:

- Формирование хозяйственного механизма, регулирующего социально-экономическое развитие, в том числе природопользование и антропогенное воздействие на окружающую среду;
- Выполнение природоохранных программ в населенных пунктах, включая их санитарную очистку, рекультивацию земель, озеленение и благоустройство;
- Осуществление мер по охране здоровья населения, развитию социальной инфраструктуры;
- Реконструкцию региональной промышленной системы с учетом хозяйственной емкости локальных экосистем;
- Развитие системы комплексного экологического мониторинга, позволяющего получать объективную, современную информацию для прогнозирования результатов хозяйственно-экономической деятельности, формирования целей и приоритетов, определение потребных ресурсов (природных, материальных, финансовых и кадровых).

Большую роль в изучении территории региона, создании и развитии системы экологического мониторинга играют картографические атласы.

Изданный (2004-2006 гг.) атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры – это фундаментальное комплексное картографическое произведение научно-справочного и прикладного назначения, отражающее все важные особенности: истории и культуры населения, социальной сферы, хозяйства, природы округа, предпосылки и факторы его современного состояния и дальнейшего устойчивого развития [2, 3].

Он будет служить средством рационального управления экономикой округа и создания предпосылок для его устойчивого развития, играть роль банка данных, источника разносторонней информации для широкого круга пользователей – жителей округа, специалистов различных областей знаний, преподавателей, студентов и школьников вузов и школ.

Атлас реализует право граждан округа и России на получение информации о современной демографической, социальной, экономической, экологической и других ситуациях, сложившихся в округе, что способствует формированию гражданского и государственно-ориентированного сознания граждан.

Обеспечивая органы управления округа официальной и общепризнанной научно-систематизированной пространственной информацией об округе, Атлас необходим для развития научных исследований и образования, применения в хозяйственно-практической деятельности, а также распространения знаний об округе.

Концентрация в Атласе многообразной информации об округе в систематизированной, сопоставимой и наглядной формах, послужит важным вкладом в программу устойчивого развития и информатизации округа [4].

Территориальная система экологического мониторинга создается в округе в целях наблюдения, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Она призвана

обеспечивать потребности государства, юридических и физических лиц в достоверной информации о состоянии окружающей среды, природных ресурсов и их изменениях. В основу ее положен гидрохимический мониторинг, мониторинг донных отложений, почвенного покрова и атмосферного воздуха.

Порядок организации и ведения локального экологического мониторинга в автономном округе установлен постановлением Правительства округа от 29.07.2003 № 302-П «Об утверждении требований к определению исходной загрязненности компонентов природной среды, проектированию и ведению экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа», разработанными в соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ и с учетом перспективы долгосрочной разработки месторождений полезных ископаемых на территории округа. В целях ведения мониторинга донных отложений водных объектов на территории округа разработан и утвержден региональный норматив предельно допустимого уровня (ПДУ) содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов на территории Ханты-Мансийского автономного округа-Югры (Постановление Правительства ХМАО-Югры от 10.11.2004 г. № 441-п).

Создание системы территориального экологического мониторинга осуществляется в два этапа:

1. Проектирование и организация информационной основы системы территориального мониторинга:

- На базе создания системы локального экологического мониторинга лицензионных участков недр (месторождений);
- На базе системы мониторинга вне лицензионных участков недр;
- На базе создания системы фонового мониторинга на ООПТ;
- Привлечение базы федеральной государственной системы мониторинга окружающей среды (ЦГМС).

2. Организация и проведение локального экологического мониторинга лицензионного участка.

Основа – организация инвентаризации источников воздействия на окружающую среду. Результатом инвентаризации основных источников и зон антропогенного воздействия в границах лицензионного участка являются аналитический отчет и карты масштаба 1 : 50 000, по которым проводится анализ и разрабатывается прогноз состояния окружающей среды.

При проведении экологического мониторинга соблюдаются важнейшие принципы организации наблюдений, утвержденные федеральным законодательством.

В системе экологического мониторинга выполняются ландшафтные, геохимические и в случае необходимости геотермические исследования.

При проведении наземных исследований основное внимание обращается на выполнение наблюдений за природными компонентами природно-технических систем, с целью получения конкретных характеристик состояния

атмосферного воздуха, почв, растительности, грунтов, рельефа местности, поверхностных и подземных вод, а также донных отложений.

На территории Ханты-Мансийского автономного округа-Югры, площадь которого составляет 534,8 тыс. км² (площадь Франции 544 тыс. км²), более 150 тыс. км² занято лицензионными участками недр и активно подвергается промышленной эксплуатации. По состоянию на 01.07. 2007 года 67 предприятий являются владельцами 303 лицензий на право пользования недрами с целью добычи углеводородного сырья (рис. 1).

Учитывая сложившуюся экологическую ситуацию, оценка современного состояния Обь-Иртышского бассейна в границах автономного округа является необходимым условием для разработки законодательных документов и природоохранных мероприятий, в связи со значимостью его территории для России, природных гидрографических особенностей и интенсивностью промышленного освоения.

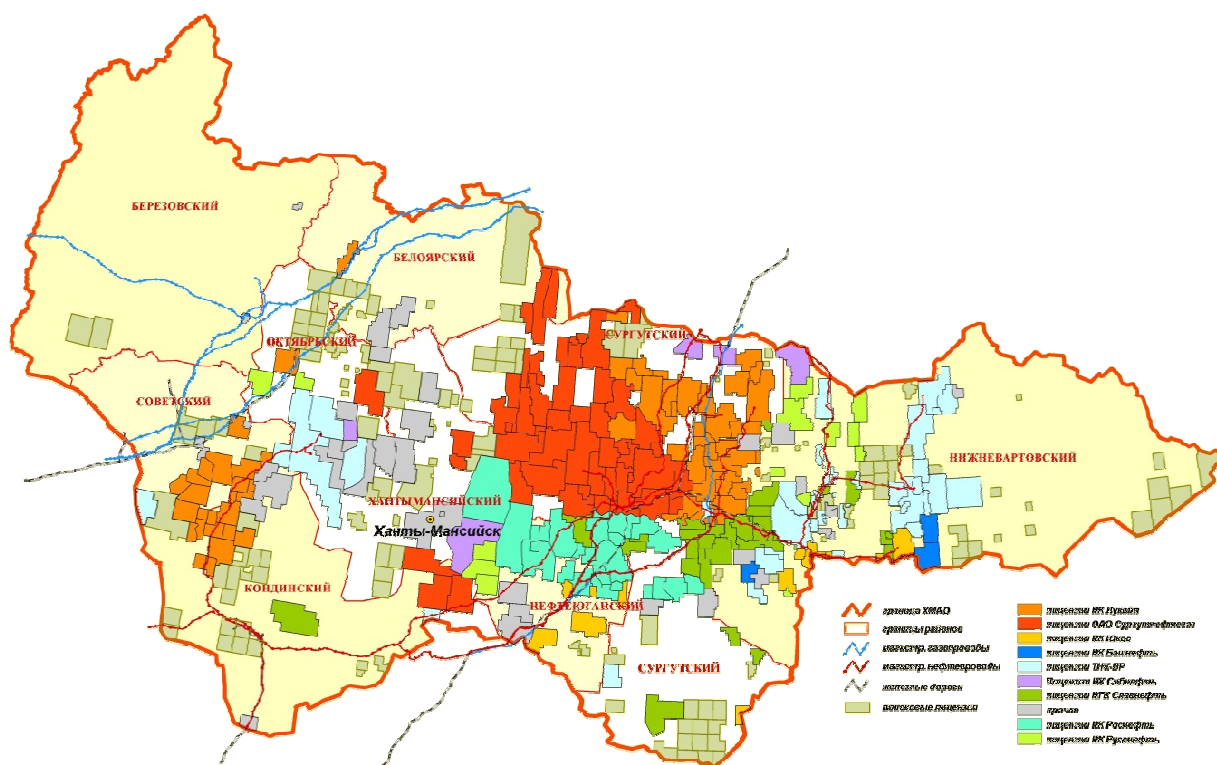


Рис. 1. Карта лицензирования территории округа

Географическое положение округа между 58 и 66 градусами северной широты обуславливает формирование на его территории, главным образом, среднетаежных природных экосистем.

Биогеоценозы северной и южной тайги встречаются, соответственно, у северных и южных границ округа, на границе с Ямало-Ненецким автономным округом и Тюменской областью. Восстановительный природный потенциал среднетаежных биоценозов не в силах самостоятельно противостоять систематически возрастающей техногенной нагрузке.

Гидрографическая сеть территории округа относится к бассейну Карского моря.

Речную сеть территории округа формируют реки Обь, Иртыш и 12 их притоков (сев. Сосьва, Конда, Вах, Юган, Казым, Пим, Тромъеган, Аган, Б. Салым, Ляпин, Лямин и Назым), а также множество мелких речек.

Река Обь занимает первое место в России по площади бассейна (2,99 млн. км²) и третье по водоносности, после Енисея и Лены.

Длина Иртыша составляет 4 248 км, по протяженности он занимает второе место в России после Лены, площадь бассейна 1,64 млн. кв. км. Река берет начало в КНР, и протекает по территории Казахстана, Омской и Тюменской областей и Ханты-Мансийского автономного округа-Югры.

Территория автономного округа имеет мощный водоресурсный потенциал, общее число рек в автономном округе – около 30 тысяч.

Густота речной сети составляет 0,25–0,4 км/км², заболоченность речных водосборов – до 70 % (бассейн р. Конда), заозеренность – до 25 % (бассейн р. Тромъеган). Рек длиной свыше 100 км насчитывается 177, а более 500 км – 10. Из больших рек, четыре реки имеют длину более 1 000 км (Обь, Иртыш, Конда, Большой Юган).

В округе насчитывается около 290 тыс. озер площадью более 1 га. Их общая площадь превышает 30 тыс. км², что составляет 5,7 % площади округа. Основное количество озер сосредоточенно в Среднем Приобье – свыше 200 тыс. (70% от общего количества), в т. ч. в бассейнах Тромъегана и Агана около 90 тыс., Ваха – 36 тыс., Лямина – свыше 30 тыс., Пима – 24 тыс. Много озер также в бассейнах Конды (44 тыс.) и Казыма (17,5 тыс.). Сравнительно мало озер в Березовском и Советском районах.

Территория Ханты-Мансийского автономного округа-Югры занимает первое место в мире по наличию болотных ресурсов в границах обособленной территории (38,2 % от общей территории округа). Заболоченность отдельных территорий достигает 70 % (Лямин-Пимский болотистый район), болотные системы местами сплошь покрывают водоразделы (Васюганское болото) [3].

Речные воды Югры имеют ряд гидрохимических особенностей, для них характерна низкая минерализация, малая прозрачность и интенсивное окрашивание, вызванное присутствием в водах озер и рек большого количества органических соединений, марганца и железа.

Природными ландшафтно-геохимическими условиями вызвано, практически повсеместно фиксируемое превышение ПДК по железу и марганцу.

Динамичное и мощное развитие промышленности на территории Югры (первое место в Российской Федерации по объему промышленного производства, производству электроэнергии и добыче нефти) сопровождалось и до настоящего времени связано со значительным потреблением природных ресурсов и загрязнением окружающей среды.

По итогам 2006 года на территории округа добыто 275,6 млн. т нефти, 29,1 млрд. м³ газа, заготовлено 3 769,5 тыс. м³ древесины, выработано более

70 млрд. кВт·ч электроэнергии при этом использовано более одного млрд. м³ воды.

Антропогенная нагрузка на природную среду Югры преимущественно обусловлена активным развитием нефтегазодобывающей промышленности. Это привело к мощной промышленной экспансии, характеризующейся как развитием промышленной инфраструктуры, так и увеличением численности населения (за тридцать лет более 1 млн. человек), урбанизации территории, повышению уровня потребления и эксплуатации природных ресурсов.

На территории автономного округа находится в эксплуатации свыше 70 тысяч добывающих и 26 тысяч нагнетательных скважин, более 85 тыс. погонных км трубопроводов различного назначения (промысловых, межпромысловых, магистральных), 40 тыс. линий электропередач, более 430 факелов по сжиганию попутного газа – вот неполный перечень основных источников длительного воздействия на природу Обь-Иртышья в границах Югры.

Высокое потребление природных ресурсов в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре сопряжено с образованием большого количества отходов от 1,5 до 1,8 млн. т ежегодно. В настоящее время на территории округа находится свыше 5 млн. тонн производственных отходов. В основном, это буровой шлам, содержащий компоненты сырой нефти и различные химические реагенты.

В последние годы, в связи с ростом населения, значительно выросло образование твердых бытовых отходов. Тенденция к накоплению и захоронению отходов на территории автономного округа значительно опережает их переработку.

В настоящее время утилизируется не более 10% от накопленных на территории округа объемов отходов.

В округе насчитывается **2377** мест размещения производственных и бытовых отходов, из них только 27 полигонов выполненных в соответствии с проектами, 17 обустроенных и предназначенных для размещения исключительно производственных отходов, главным образом, нефтезагрязненных грунтов и нефтешламов (рис. 2).

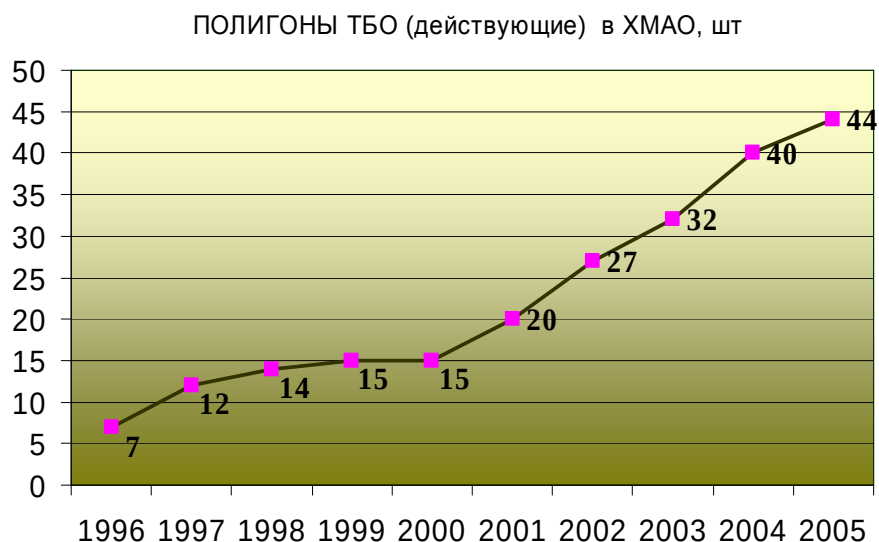


Рис. 2. Динамика строительства полигонов ТБО на территории округа

На территории округа имеется более 20 мест несанкционированного складирования производственных отходов, 120 организованных шламонакопителей и более 1 600 нерекультивированных шламовых амбаров.

Площадь, занятая свалками и полигонами составляет 511, 85 га, кроме того, ежегодно обнаруживается порядка 80–100 мест несанкционированного складирования отходов.

В настоящее время рекультивировано 50 несанкционированных свалок в рамках окружной целевой программы «Оздоровление экологической обстановки в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре в 2005–2010 годах», утвержденной законом от 18.12.2005 № 9-оз.

Общий объем отходов, содержащий на санкционированных свалках и полигонах, составляет 15,44 млн. тонн.

Допустимая остаточная мощность полигонов составляет 7,22 млн. тонн.

Ежегодное поступление отходов на полигоны и свалки составляет порядка 1,1–1,3 млн. тонн [6].

Динамичное развитие промышленной инфраструктуры на территории округа оказывает значительное влияние на природные комплексы, обедняя их энергетический потенциал, ухудшая функциональную значимость и способность к самовосстановлению. Причем это происходит не только в полосе официального земельного отвода, негативное влияние распространяется и на прилегающие земли в виде пятен загрязнения, зон подтопления, зон деградации болотных систем, шумового и электромагнитного воздействия, вызванного как ошибками при проектировании, так и низким уровнем реализации проекта. Кроме того, при инвентаризации земель нефтегазовых предприятий выявлено, что каждый гектар официального отвода сопровождается 3–10 га фактически используемых земель.

Темпы проводимой природопользователями рекультивации нарушенных земель не обеспечивают своевременной очистки и восстановления природного ландшафта.

В округе по-прежнему острой остается проблема загрязнения земель нефтью и нефтепродуктами, минерализованными водами и производственными отходами, причиной являются аварийные ситуации на площадных и линейных инженерных коммуникациях нефтегазодобывающего комплекса. На 01.01.2007 года на территории автономного округа по сведениям нефтегазодобывающих предприятий площадь загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель составляет 6 862 га. Увеличение площади нефтезагрязненных земель сохраняется и вызвано снижением темпов рекультивации и ростом количества аварийных разливов нефти (рис.3, 4), [6].

Сведения, подаваемые предприятиями о площади нефтезагрязненных земель (2003г.), значительно расходятся с результатами дешифрирования материалов космосъемки ОАО НПЦ «Мониторинг», так например, площадь нефтезагрязненных земель ОАО «Юганскнефтегаз» по данным ОАО «НПЦ Мониторинг», существенно больше и составляет около 200 га.

По оценкам ОАО «НПЦ Мониторинг», полученным в результате дешифрирования космоснимков(2004г.), в округе загрязнено нефтью почти 35 тыс. га земель, 250 га земель загрязнено вне территорий лицензионных участков.

Промышленность на территории Югры является основным потребителем воды, на ее долю приходится 81,8 % от общего использования свежей воды. С 2000 по 2002 год наблюдалось некоторое снижение суммарного объема водопотребления, начиная с 2003 года, забор воды из источников увеличивается, особенно на производственные нужды и составляют более 1 млрд. куб. м.

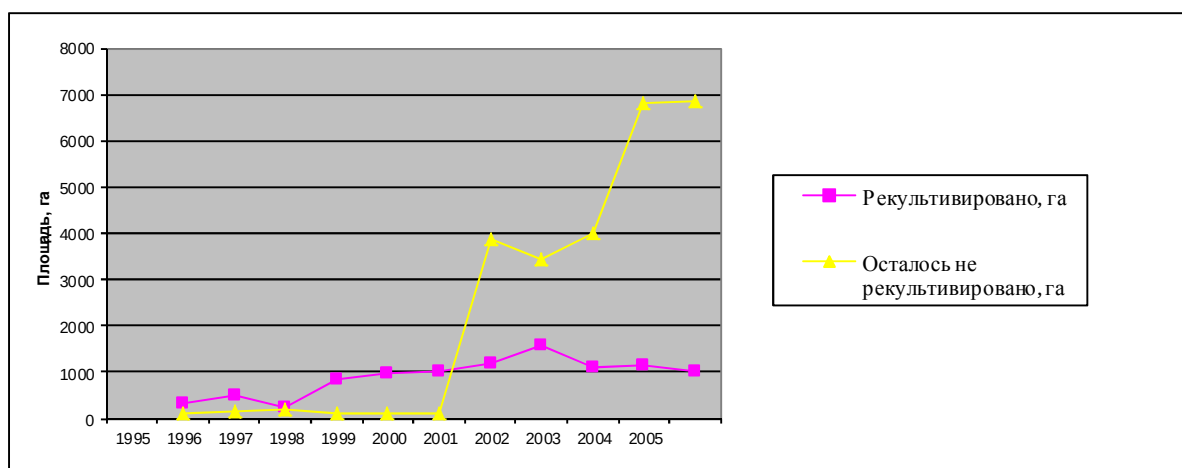


Рис. 3. Динамика аварийности и площади нефтезагрязненных земель

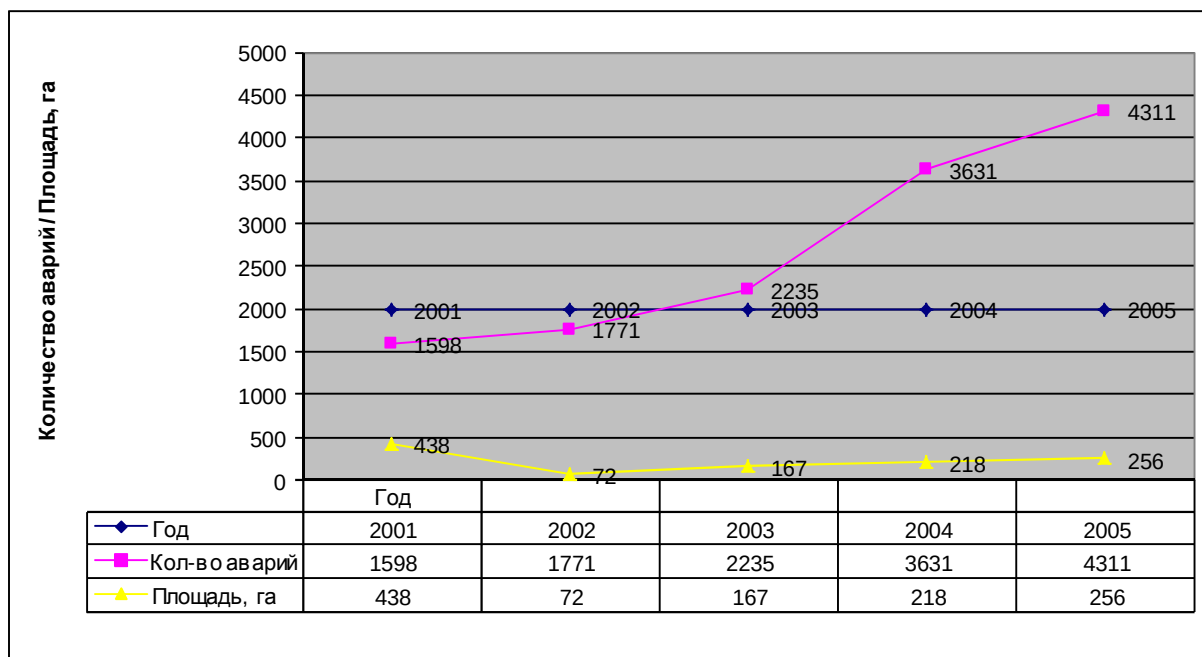


Рис. 4. Динамика образования и рекультивации нефтезагрязненных земель с 1995 по 2005 годы

За период с 2003 по 2006 гг. рост объема водопотребления составил 18 %.

Общее водоотведение сточных и других вод составило в 2005 году 661,82 млн. м³, в поверхностные водные объекты сбрасывается 98,5 % общего объема водоотведения. Через очистные сооружения в 2004 году было сброшено почти 130 млн. м³ или около 20 % от общего объема стоков. Общая мощность очистных сооружений в Югре составляет 185,8 млн. куб.м.

В Ханты-Мансийском автономном округе-Югре остро стоит проблема качества питьевой воды. Воду, не соответствующую Российским стандартам для питьевых и хозяйственно-бытовых целей получает 48 % населения.

По данным данных гидрохимической сети наблюдений Ханты-Мансийского окружного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды вода в р. Обь по комплексным оценкам в 2006 году оценивалось «грязной» 4 класс, разряды А и Б. Среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ на участке от г. Нижневартовск до д. Белогорье составили: ХПК 2,1–2,8 ПДК, БПК₅ 0,6–1,1 ПДК, азота аммонийного 1,4–2,5 ПДК, азота нитритного 0,2–0,6 ПДК, соединений железа 10–12 ПДК, меди 4,3–19,3 ПДК, цинка 0,9–4,6 ПДК, марганца 12,7–19 ПДК, фенолов 2,1–2,8 ПДК, нефтепродукты 4,7–9,1 ПДК.

В 2006 г. качество воды реки Иртыш в сравнении с 2005 г. оставалась на прежнем уровне. Вода реки по гидрохимическим показателям оценивалась как «грязная» и относилась к 4А и Б классу. Ингредиенты, среднегодовые концентрации которых превышали установленные нормативы: ХПК 1,8–3 ПДК, БПК₅ 0,6–1,2 ПДК, азот аммонийный 0,8–3 ПДК, азот нитритный 0,2–0,8 ПДК, соединения железа 2,4–7,6 ПДК, меди 2,4–21,3 ПДК, цинка 0,5–2,2 ПДК, марганца 9,5–20,3 ПДК, фенолы 1,8–4,3 ПДК, нефтепродукты 1,8–10,7 ПДК [6].

Гидрохимическое исследование основных водотоков Югры на протяжении ряда лет выявило ухудшение качества воды, связанное с нефтедобычей по увеличению показателей загрязнения приоритетными веществами – нефтепродуктами (в среднем до 3,3 ПДК) и хлоридами.

Оценка состояния Обь-Иртышского бассейна в границах автономного округа в округе может быть дополнена сведениями по результатам осуществляемого на территории округа локального экологического мониторинга.

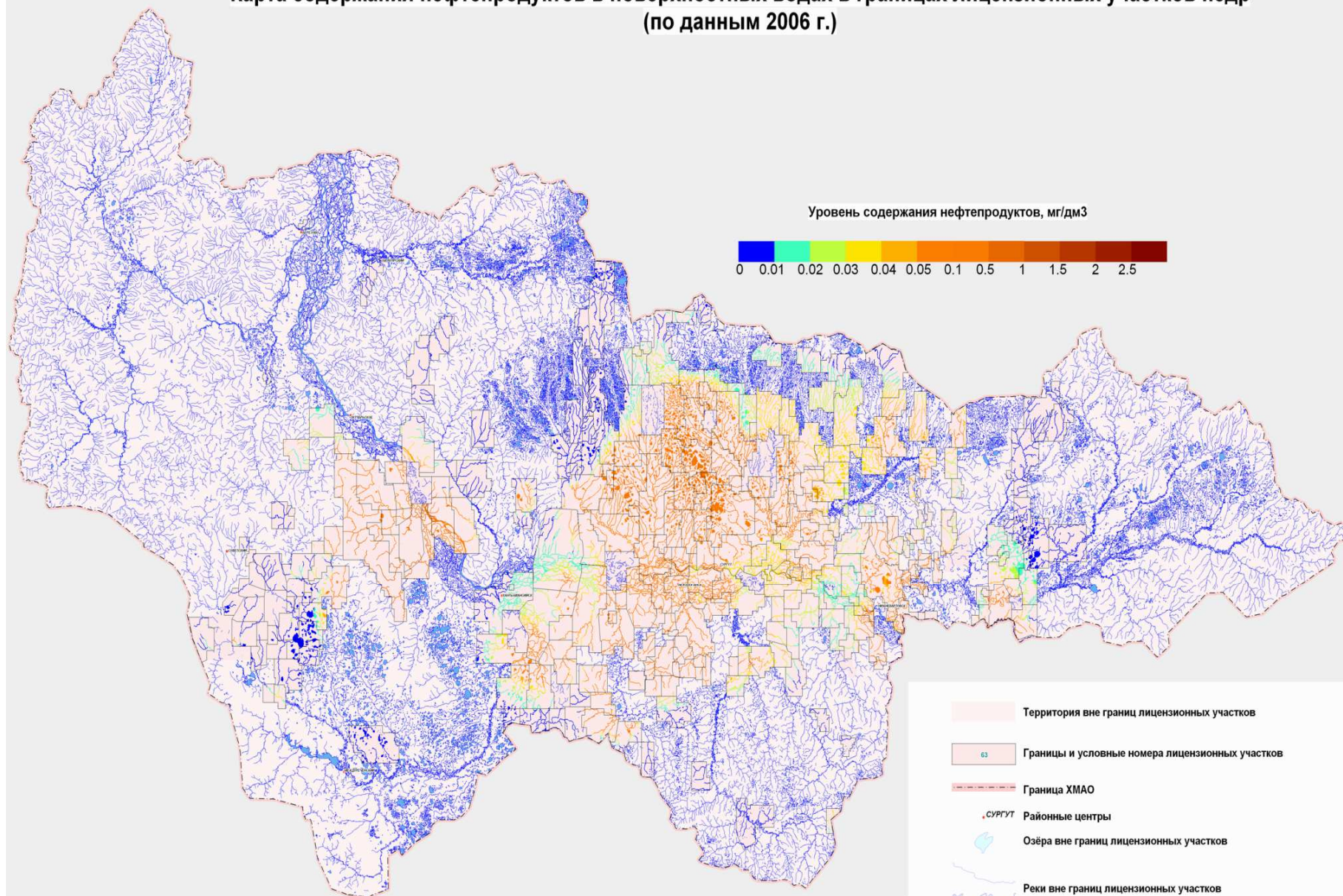
Анализ данных 2005–2006 гг. показал рост количества образцов поверхностной воды, в которых содержание хлоридов превышало предельно допустимый норматив, до 2,7 %. А также увеличение числа проб с высокими и аномально высокими концентрациями.

Наиболее высокие концентрации хлоридов отмечены на лицензионных участках ООО «РН Юганскнефтегаз», ОАО «Самотлорнефтегаз», ОАО Нижневартовское НП и ОАО Томскнефть ВНК, нефтепродуктов – на лицензионных участках ООО «РН Юганскнефтегаз», ОАО ТНК-Нягань ОАО Томскнефть ВНК, ООО ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь (рис. 5).

Остается высоким содержание некоторых тяжелых металлов в поверхностных водах водных объектов на лицензионных участках недр автономного округа, таких как медь, цинк.

Результаты определения содержания нефтепродуктов в донных отложениях зафиксировали уменьшение числа проб в интервале от 50 до 100 мг/кг «пороговое состояние, видовая замена, выраженное обеднение донной экосистемы» и увеличение числа проб в интервале от 20 до 50 мг/кг «область нарастающих изменений в донной экосистеме, обедняющей ее биотические (бентические сообщества)».

**Карта содержания нефтепродуктов в поверхностных водах в границах лицензионных участков недр
(по данным 2006 г.)**



Выводы:

1. В Ханты-Мансийском автономном округе-Югре создана нормативная база по созданию системы комплексного экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр на территории автономного округа.

Порядок организации и ведения регионального экологического мониторинга в автономном округе установлен Постановлением Правительства ХМАО-Югры № 302-П от 29 июля 2003 г. «Об утверждении требований к определению исходной (фоновой) загрязненности компонентов природной среды, проектированию и ведению системы экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа» [5].

В целях ведения мониторинга донных отложений водных объектов на территории округа разработан и утвержден региональный норматив предельно допустимого уровня (ПДУ) содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов на территории Ханты-Мансийского автономного округа-Югра (Постановление Правительства ХМАО-Югры от 10.11.2004 г. № 441-п).

2. Принят и реализуется Закон Ханты-Мансийского автономного округа-Югры «О целевой программе Ханты-Мансийского автономного округа-Югры «Оздоровление экологической обстановки в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре в 2005–2007 годах», сумма средств на реализацию программы составляет 1 586 729 тыс.рублей.

3. На территории автономного округа с 2004 года проводится экологический мониторинг в границах и вне границ лицензионных участков недр.

Анализ данных по уровню загрязнения водотоков на лицензионных участках недр за последние пять лет приведенный свидетельствует о негативной тенденции. В 2006 году продолжена работа по обеспечению функционирования региональной системы экологического мониторинга окружающей среды и созданию единой информационной базы о состоянии окружающей среды. Получена информация о состоянии окружающей среды в границах и вне границ лицензионных участков недр (на общей площади 546,3 тыс. км², в том числе лицензированных участков недр на общей площади 152,9 тыс. км²). Получена оперативная космическая информация о природных и техногенных воздействиях на окружающую среду на территории автономного округа.

4. За 5 лет за счет финансирования природоохранных мероприятий в строительство и обустройство полигонов по утилизации отходов израсходовано более 400 млн. руб., на ликвидацию несанкционированных свалок с последующей рекультивацией почти 55 млн. руб, в строительство и реконструкцию КОС, КНС, коллекторов вложено средств на сумму почти 211,5 млн. руб. Объем сброса сточных вод без очистки в поверхностные водоемы уменьшился на 20 %.

5. В настоящее время в округе все настойчивее проводится политика по утилизации попутного нефтяного газа.

При заключении лицензионных соглашений недропользователю предлагается принять программу мероприятий по утилизации (использованию) нефтяного попутного газа, типовая форма которой разработана Департаментом по нефти, газу и минеральным ресурсам Ханты-Мансийского автономного округа. Цель данной программы – достижение уровня утилизации попутного нефтяного газа не ниже 95 % от имеющихся ресурсов по каждому лицензионному участку, а также снижение выбросов парниковых газов в соответствии с требованиями Киотского протокола.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.П. Камышев. Метода и технологии мониторинга природно-технических систем севера Западной Сибири. – М: ВНИПИГАЗДОБЫЧА, 1999. – 230 С.
2. Т.В. Котова, В.С. Тикунов, В.А. Дикунец, В.Н. Макеев, В.И. Кудрин, Концепция комплексного атласа Ханты-Мансийского автономного округа. – Ханты-Мансийск: ГУИПП «Полиграфист», 2002. – 48 с.
3. Н.А. Аветов, М.Н. Губанов, В.А. Дикунец, А.Г. Исаченко, Т.В. Котова, Т.М. Красовская, В.И. Кудрин, И.Л. Кузин, О.Л. Лисс, В.Н. Макеев, В.В. Масленникова Н.Н. Москвина, В.С. Тикунов, С.Я. Трофимов и др. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа-Югры т.1. История. Население. Экономика.- Ханты-Мансийск: ГП «Полиграфист» , 2006. – 152 с., т.2. Природа. Экология.- ФГУП 439 ЦЭВКФ МО РФ, 2004. – 152 с.
4. Т.Г. Сваткова. Атласная география.- М: Аспект Пресс, 2002. – 203 С.
5. В.Н. Макеев, В.А. Дикунец, В.И. Кудрин, А.В. Соромотин, В.В. Хотеев, О.В. Гертер, С.В. Пикунов, В.А. Перминов. Методические рекомендации по применению Требований к определению исходной (фоновой) загрязненности компонентов природной среды проектированию и ведению системы экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа.- Ханты-Мансийск: ГП «Полиграфист», 2004. – 92 с.
6. Обзор «О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа-Югры в 2005 году».- Ханты-Мансийск: ГП «Полиграфист» , 2006. – 147 с.

© В.Н. Макеев, С.В. Пикунов, В.А. Середович, 2008

УДК 551.583+551482.215.7+519.6

В.И. Кузин, Н.А. Лаптева

СГГА, Новосибирск

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЧНОГО СТОКА ДЛЯ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

V.I. Kuzin, N.A. Lapteva

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

MODELLING OF THE CLIMATIC RIVER RUNOFF FOR THE SIBERIAN REGION

The paper is dedicated to the study of some aspects of the hydrological processes influence to the climatic system. In particular, the role of the Arctic Ocean as well as the influence of the Siberian rivers discharge to the climatic changes is discussed. The linear reservoir hydrological discharge model constructed as part of the regional climatic model for the Siberian region is presented in the paper. The comparison of the simulated river runoff with the climatic data is also discussed.

Введение.

Глобальный гидрологический цикл, в атмосфере и океане играет важнейшую роль в определении климатического состояния на Земле. Атмосфера переносит на материки около 40 тыс. куб. км в год пресной воды. Над материками в этот объем добавляется еще 71 куб. км за счет испарения и транспирации растений. После выпадения осадков над материками сбалансированный возвратный сток с материков в океан, очевидно, составляет 40 куб. км и состоит в основном из речного стока и существенно меньшего количества стока грунтовых вод. Океан переносит эту воду с помощью механизма «конвейерного пояса» [1] из высоких и средних широт в тропические зоны, где они поступают в атмосферу за счет испарения. Атмосферные процессы переносят эту воду в средние и высокие широты, где она выпадает в виде осадков на океаны и материки и цикл повторяется. Для климата материков этот цикл имеет первостепенное значение, поскольку это связано с поступлением влаги на их поверхность и регулирует увлажненность почвы. Это является причиной того, что ряд программ Всемирной программы изменений климата WCRP и Программы глобальных изменений Global Change включают в себя обязательным разделом исследование гидрологического цикла и его изменений (проект Global Energy and Water Experiment – GEWEX). Особый интерес в последнее время уделяется региональным характеристикам гидрологического цикла и, в частности, в средних широтах.

Настоящая статья посвящена рассмотрению некоторых аспектов влияния стока Великих Сибирских рек на климатические изменения. В ней обсуждаются результаты расчетов, проведенные по климатической модели речного стока.

1. Роль Сибирских рек в гидрологическом цикле.

Основным компонентом упомянутого во введении «конвейерного пояса» является глубокая конвекция, происходящая в Лабрадорском и Гренландском морях, формирующая опресненную глубинную Атлантическую воду, которая распространяется в глубинных районах Атлантического океана на юг далее в Индийский и Тихий океаны в рамках реализации механизма глобального оборота воды. Причиной конвекции является вынос плотной холодной поверхностной воды из Арктического бассейна. Северный Ледовитый океан, составляя 5 процентов площади Мирового океана и 1.5 процентов объема, привносит в Мировой океан 10 процентов объема всей пресной воды около 10 тыс. куб. км в год [2]. Изменение потока пресной воды из Арктического бассейна может вызвать нарушение условий глубокой конвекции и, как результат, нарушение глобального гидрологического цикла. Существенным источником поступления пресной воды в верхний слой Северного Ледовитого океана, создающего условия для формирования льда является речной сток. В этой связи роль речного стока является важным фактором, влияющим на процессы переноса пресной воды. Основной вклад здесь дают Великие Сибирские реки, которые дают около 80 % всего объема воды по сравнению с поступлением от реки МакКензи и притоком распресненной воды через Баренцев пролив. Наибольший сток 603, 520 и 530 куб. км в год имеют реки Енисей, Лена, Обь соответственно.

В связи с этим, можно констатировать факт, что роль Сибирских рек в формировании климатической системы Земли весьма велика и для адекватного воспроизведения как регионального, так и глобального климата необходима разработка совместной атмосферной и гидрологической климатической модели.

2. Климатическая модель речного стока.

Разрабатываемая модель является линейной резервуарной моделью. Модель составлена из линейных резервуаров в ячейках сетки. Это означает, что скорость стока из ячейки линейно зависит от притока и пропорциональна наклону в ячейке и обратно пропорциональна расстоянию между центрами ячеек. Скорость изменения стока из ячейки или каскада ячеек в простейшем варианте модели Калинина-Милюкова [4, 6] определяется на основе последовательного решения обыкновенных дифференциальных уравнений.

В конкретной реализации модели использовалась структура, предложенная в институте Макса Планка в Гамбурге [6]. В этом подходе поток воды на суше разделяется на три составляющие: поверхностный сток, грунтовый сток, речной сток. В каждой ячейке производится учет процентного содержания болот и озер.

3. Результаты моделирования.

При проведении численных экспериментов по климатической модели речного стока было выбрано разрешение, соответствующее разрешению в региональной климатической модели ECSib, разработанной в ИВМиМГ СО

РАН, и составляющее 0.3×0.3 градуса по широте и долготе соответственно. Модель речного стока покрывает Сибирский регион по долготе от Урала до Дальнего Востока и по широте от Северного Казахстана до Северного Ледовитого океана. В модели учитывались бассейны рек: Обь – Иртыш, Пур, Ангара – Енисей, Лена, Индигирка, Колыма, Анадырь, Амур. Данные климатической модели о рельефе поверхности были откорректированы с учетом однозначности направления стока из каждой ячейки сетки. Ячейки поверхностного и грунтового стока представлялись в модели как отдельные резервуары, а ячейки речного стока задавались как каскад резервуаров. Учет болот и озер осуществлялся на основе обработки массива глобального распределения болот и озер [7, 8].

Для выбранного варианта модели стока необходимо задание следующих входных параметров: осадки; испарение, переходы из жидкой в твердую фазы и обратно, инфильтрация в почву. Эти данные были взяты из расчетов климатической модели ИВМ РАН. В качестве контрольных данных использовались климатические данные годовых расходов сибирских рек Атласа Арктики [9] и данные о среднемесячных стоках полученных постами Гидрометслужбы на створах Обь-Салехард, Енисей-Игарка и Лена-Кюсюр. Длина рядов составляла период 1936 – 1990 гг. Данные для каждого месяца были осреднены за указанный период и полученные значения для каждого месяца были приняты за климатические значения.

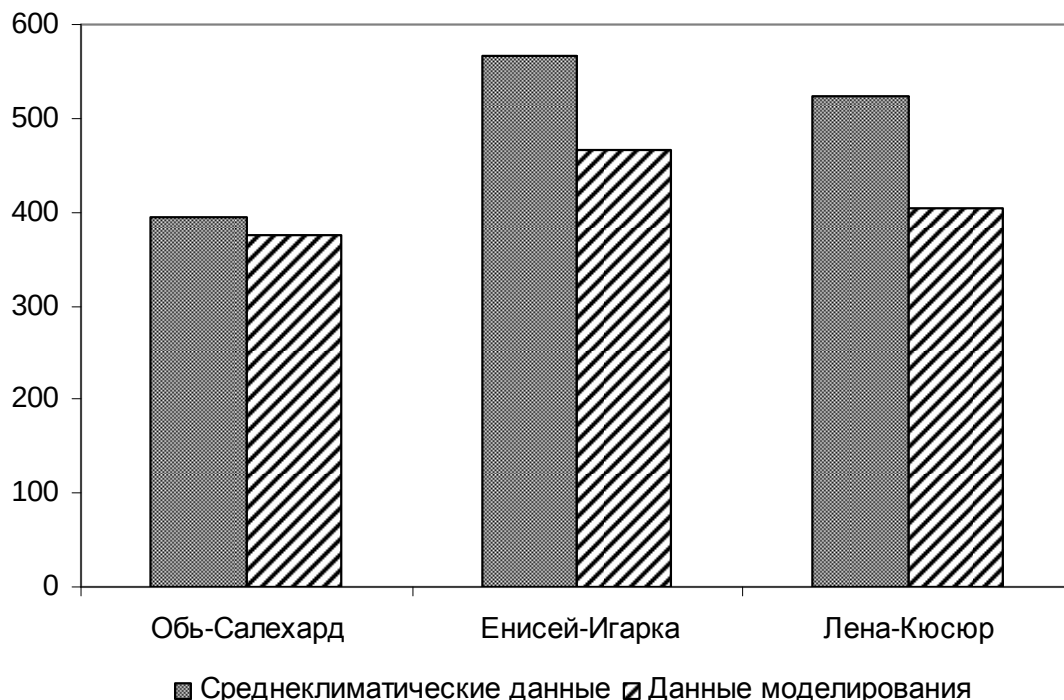
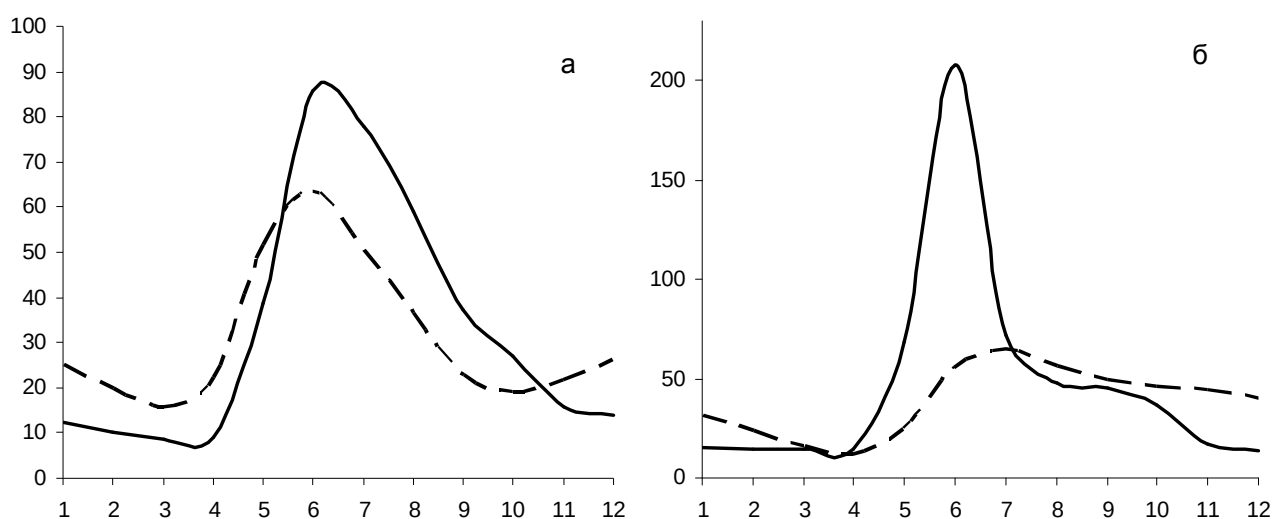


Рис. 1. Годовые расходы по рекам, км³

Рис. 1 дает сравнение данных моделирования с данными, полученными осреднением данных расходов на створах Обь – Салехард, Енисей – Игарка,

Лена – Кюсюр. Результаты анализа годовых стоков говорят о хорошем качестве воспроизведения суммарных годовых осадков в климатической модели ИВМ РАН.

Далее, представляет интерес рассмотреть поведение гидрографа в течение климатического года в сравнении с данными измерений. На рис. 2 представлен годовой ход гидрографа для трех бассейнов. Можно видеть, что модельные и измеренные гидрографы имеют большие различия, как в амплитудах, так и в фазах. Так амплитуда гидрографа для Оби на створе Салехарда меньше климатических данных на 25 %, а наступление весеннего половодья опережает по фазе реальные на 0.5 месяца. В то же время, для Енисея амплитуда весеннего максимума существенно занижена при совпадении фаз. Для Лены рассчитанная амплитуда максимума втрое меньше с отставанием по фазе на два месяца. Отклонения в годовом ходе гидрографа для бассейнов Сибирских рек соотносятся с отклонениями, полученными по данным реанализа на основе модели Института Макса-Планка [10]. Эти различия требуют дальнейшего анализа. Одной из возможных причин отклонений в фазах весенних паводков является недостаточно адекватное описание структуры и скорости таяния снежного покрова.



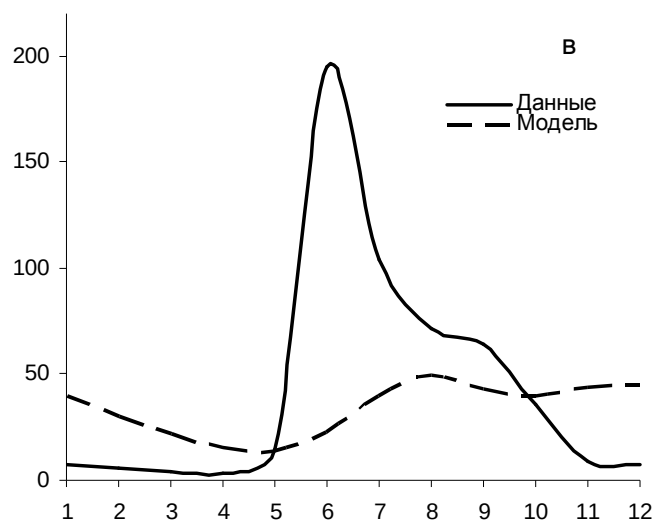


Рис. 2. Сравнение месячных среднеклиматических расходов и результатов моделирования, км³: а – Обь – Салехард; б – Енисей – Игарка; в – Лена – Кюсюр

Авторы выражают благодарность Е.Н. Володину за любезно предоставленные результаты расчетов по климатической модели ИВМ РАН, Д.А. Буракову и А.А. Фоменко за полезные обсуждения.

Работа поддержана программой ОМН РАН 1.3.9.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Broecker W.S. The great ocean conveyor / W.S. Broecker / Oceanography. – 1991. – Vol. 4, No. 2, P.79–89.
2. Иванов В.В. Водный баланс и водные ресурсы Арктического региона / В.В. Иванов / Труды ААНИИ. – 1976. – Т. 323, С. 4–24.
3. Бабкин В.И. Циклонические осадки и сток Оби и Енисея в маловодные и многоводные годы / В.И. Бабкин, А.Н. Постников / Метеорология и Гидрология. – 2003. – № 12, С.79–85.
4. Бураков Д.А. К оценке параметров линейных моделей стока / Д.А. Бураков / Метеорология и гидрология. – 1989. – № 10, С. 89–95.
5. Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока / Л.С. Кучмент / – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 190 с.
6. Hagemann S. Hydrological discharge model / S. Hagemann, L. Dumenil / Technical report № 17, MPI, Hamburg. – 1998. – 42 p.
7. Cogley J.G. GGHYDRO – Global Hydrographic Data, Release 2.1 / J.G. Cogley / Department of Geography, Trent University, Peterborough, Ontario, Canada. – 1994.
8. Matthews E., Fung I. Methane emissions from natural wetlands: Global distribution, area, and environmental characteristics of sources / E. Matthews / Global Biogeochem. Cycles 1. – 1987. – № 1.

9. Атлас Арктики / Под ред. А.Ф. Трешникова. – М.: ААНИИ, 1985. – 204 с.
10. Hagemann S. Validation of the hydrological cycle of ECMWF and NCEP reanalyses using the MPI hydrological discharge model / S. Hagemann, L. Dumenil / J. Geophys. Res. – 2001. – Vol. 106, p. 1503–1510.

© *В.И. Кузин, Н.А. Лантева, 2008*

УДК 551.511.42.001

В.Ф. Рарута

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ПРИМЕСЕЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ НОВОСИБИРСКА

V.F. Raputa

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian

Branch of the Russian Academy of Sciences

prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

SURVEY OF AEROSOL POLLUTION PRECIPITATION IN THE VICINITY OF NOVOSIBIRSK

Construction of estimation long-term regional pollution emission model was carried out. Small parameter representation of emission concentration fields from area source was received by asymptotic expansion method. Numeric analysis of field survey of snow cover in the vicinity of Novosibirsk was performed.

Введение. Проблема численного моделирования распространения примесей в атмосфере с территории города относится к числу наиболее сложных. Распространение загрязняющих веществ тесно связано с текущим динамическим, термическим и влажностным режимом атмосферы, характером подстилающей поверхности. Особо следует отметить трудности описания пространственного распределения и временной динамики выбросов примеси от большого числа городских источников.

При использовании методов прямого моделирования процессов распространения примесей в атмосфере детальный учёт всех этих факторов приводит к необходимости разработки весьма громоздких математических моделей, к тому же включающих в себя значительное число параметров, требующих дальнейшего уточнения, что не всегда согласуется с имеющимися техническими и экономическими возможностями. Такая ситуация приводит к необходимости более взвешенного совместного анализа экспериментальных данных и теоретических описаний распространения примесей в приземном и пограничном слоях атмосферы, учёта априорной информации о характеристиках источников и пространственно-временных масштабах исследуемых процессов. В частности, при моделировании длительного загрязнения местности стационарными источниками текущую метеорологическую информацию вполне можно заменить климатическими данными о направлении и скорости ветра [1]. Существует возможность сравнительно простого математического описания процессов переноса примеси на больших удалениях от источников выбросов [2]. Применение методов теории

подобия и размерности, асимптотических методов в ряде случаев позволяет заметно снизить количество неизвестных параметров. Планирование наблюдений на основе теоретических представлений о протекающих процессах переноса примеси приводит к повышению информативности экспериментальных данных.

1. *Модели оценивания регионального загрязнения.* Описание полей концентраций примесей в атмосфере на значительных удалениях от источника допускает значительные упрощения. Экспериментальные и теоретические исследования показывают, что, начиная с расстояний порядка 7–10 км от источника, расположенного в пограничном слое атмосферы, распределение концентрации примеси выравнивается по высоте [2]. Для таких расстояний влияние ряда параметров становится не существенным. К ним следует отнести высоту источника, скорость оседания аэрозольных частиц, коэффициент вертикального турбулентного обмена и т. д. В этом случае поле осредненной за длительный промежуток времени концентрации от точечного источника описывается соотношением [1, 2]

$$\bar{q}(r, \varphi) = \frac{M \cdot g(\varphi)}{2\pi \cdot u \cdot h \cdot r}, \quad (1)$$

где r, φ – полярные координаты расчетной точки с началом в месте расположения источника, $g(\varphi)$ – вероятность противоположного φ направления ветра на высотах пограничного слоя атмосферы, M – мощность источника, u, h – средняя скорость ветра и толщина слоя перемешивания.

Полагая плотность аэрозольных выпадений пропорциональной концентрации примеси в воздухе, получим

$$\Phi(r, \varphi) = \frac{\theta \cdot g(\varphi)}{r}. \quad (2)$$

Здесь $\theta = \lambda \cdot M / (2\pi \cdot u \cdot h)$, λ – коэффициент взаимодействия примеси с подстилающей поверхностью.

Площадной источник. С учётом (2) плотность осадка аэрозольной примеси в случае площадного источника S представляется в виде

$$Q(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi u h} \iint_S \frac{m(\xi, \eta) g(\varphi)}{d} d\xi d\eta. \quad (3)$$

где (ξ, η) – текущие координаты источника, $(\xi, \eta) \in S$, $m(\xi, \eta)$ – эмиссия примеси из этой точки,

$$\varphi(\xi, \eta, x, y) = \arctg\left(\frac{y - \eta}{x - \xi}\right), \quad d = |M_1 M| = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}, \quad (4)$$

предполагается также, что точка (x, y) достаточно удалена от множества S .

На практике мощность эмиссии площадного источника $m(\xi, \eta)$, как правило, неизвестна, либо может быть задана лишь весьма приближенно. В таких условиях интерпретация данных наблюдений с помощью соотношения (3) становится достаточно затруднительной. В этом случае целесообразно

проводить оценивание (3) с использованием его асимптотических представлений и измеренных значений концентраций на различных удалениях от множества S .

В качестве первого приближение может быть использовано соотношение

$$Q_1(x, y) = \frac{c}{r} \iint_S m(\xi, \eta) \left\{ g(\varphi_0) + \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) g'(\varphi_0) - g'(\varphi_0) \left(\frac{x}{r^2} \xi + \frac{y}{r^2} \eta \right) \right\} d\xi d\eta =$$

$$= \theta_1 \frac{g(\varphi_0) + \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) g'(\varphi_0)}{r} + \theta_2 \frac{g'(\varphi_0)x}{r^3} + \theta_3 \frac{g'(\varphi_0)y}{r^3}, \quad (5)$$

$$\theta_1 = c \iint_S m(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad \theta_2 = -c \iint_S \xi m(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad \theta_3 = -c \iint_S \eta m(\xi, \eta) d\xi d\eta.$$

Замечание. При равномерной розе ветров $g'(\varphi) = 0$. В этом случае в зависимости (4) оцениванию подлежит лишь параметр θ_1 . Это свойство может быть использовано также и при оценивании полей аэрозольных выпадений примеси в секторах, где изменения функции $g(\varphi)$ не очень значительны.

2. *Экспериментальные исследования загрязнения снегового покрова в окрестностях г. Новосибирска.* Исследование снежного и почвенного покрова является удобным и экономичным способом получения данных о поступлении загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность. Особый интерес эти исследования представляют при изучении процессов длительного загрязнения. Интенсивность и конфигурация поля концентрации определяется величиной выброса, длительностью периода накопления, размещением источников, повторяемостью направлений ветра и т. д. [3–5].

В конце зимних сезонов 2005–2006 г.г. и 2006–2007 гг. в окрестностях Новосибирска проведены экспедиционные исследования аэрозольного загрязнения снегового покрова пылью, тяжёлыми металлами, полиароматическими углеводородами (ПАУ). Типичная схема отбора проб снега представлена на рис. 1. Маршруты отбора проб выбирались с учётом направлений преобладающих выносов городских примесей и системы дорог. В данном случае этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяет томская трасса, расположенная северо-восточнее города. Зимняя повторяемость ветров юго-западного и западного направления на высотах пограничного слоя атмосферы составляет около 60 % [6].

Отбор проб проводился на всю глубину снежного покрова. Химический анализ проб снега на содержание в них тяжёлых металлов, ПАУ выполнялся в аналитических лабораториях институтов СО РАН.



Рис. 1. Схема отбора проб снега в окрестностях г. Новосибирска: • обозначены положения точек пробоотбора

3. *Численный анализ данных натурных наблюдений.* Количественная интерпретация данных экспедиционных и лабораторно-аналитических исследований проводилась на основе регрессионного соотношения (4) применительно к северо-восточному сектору регионального выноса примесей от источников города. Начало координат располагалось в центре Новосибирска (Оперный театр). С учётом замечания, в этом случае достаточно оценить в зависимости (4) только один неизвестный параметр θ_1 . Для его оценки в качестве опорной точки наблюдения выбиралась точка № 1, расположенная перед пос. Мочище и удалённая от центра города на 18 км. Результаты численной интерпретации данных экспериментальных исследований для рассматриваемых зимних сезонов представлены на рис. 2, 3.

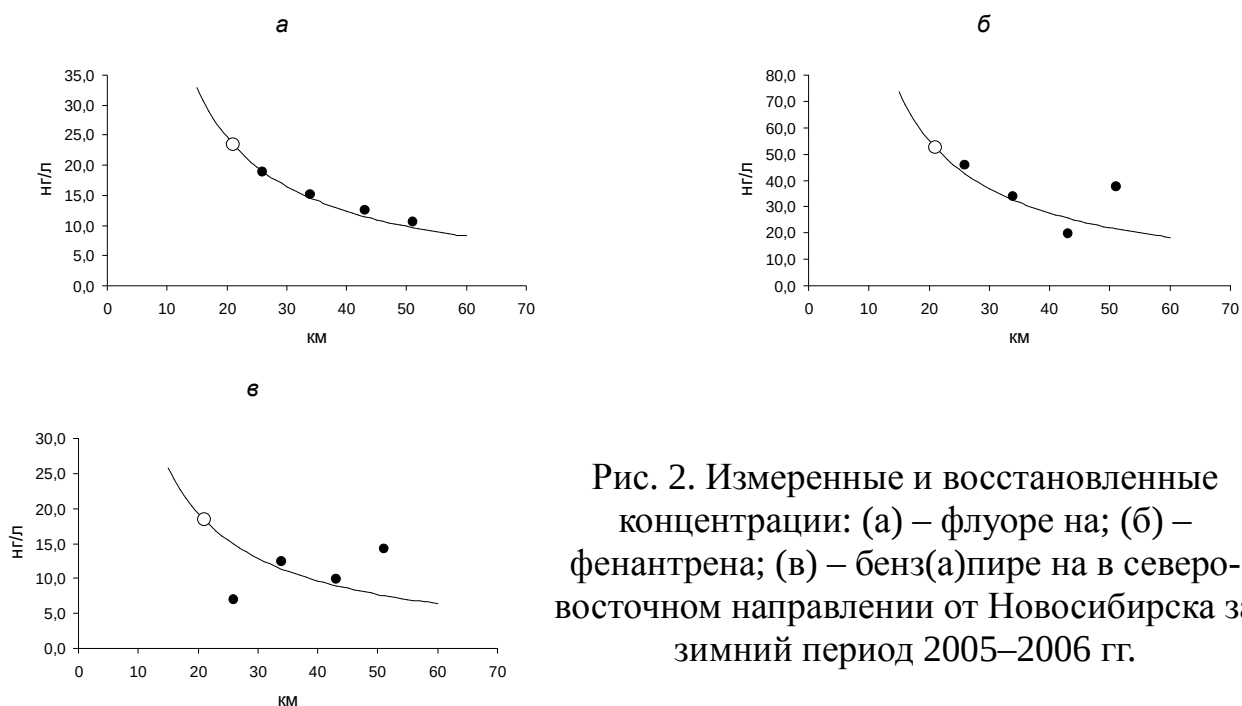


Рис. 2. Измеренные и восстановленные концентрации: (а) – флуоре на; (б) – фенантрена; (в) – бенз(а)пире на в северо-восточном направлении от Новосибирска за зимний период 2005–2006 гг.

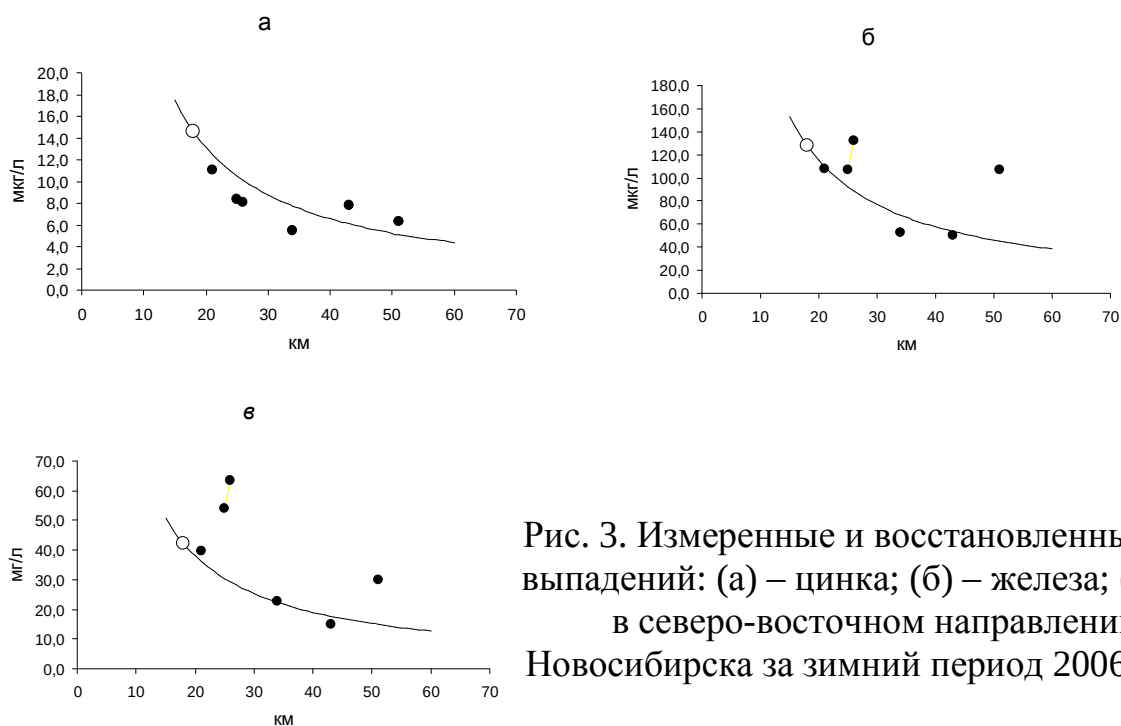


Рис. 3. Измеренные и восстановленные уровни выпадений: (а) – цинка; (б) – железа; (в) –пыли в северо-восточном направлении от Новосибирска за зимний период 2006–2007 гг.

На рисунках: ○ – опорные точки, ● – контрольные точки наблюдений; — — — — — восстановленная по модели (4) концентрация.

Анализ рис. 2, 3 показывает удовлетворительное согласие расчета наблюдениям в контрольных точках. Несмотря на значительный разброс в некоторых точках сравниваемых значений концентраций тяжёлых металлов и ПАУ, в целом, преобладает суммарный вклад в загрязнение снегового покрова источников, расположенных на территории Новосибирска. Весьма высокими являются выпадения пыли, а также компонентов ПАУ, в частности, бенз(а)пирена, оказывающего существенное влияние на заболеваемость населения города. Следует также отметить реальную возможность использования выпадений пыли в качестве трассера, что при дальнейших исследованиях позволит существенно уменьшить количество относительно дорогих химических анализов, ограничившись определением концентраций рассматриваемых химических элементов и соединений лишь в ряде опорных точек.

Результаты экспериментальных исследований загрязнения снегового покрова в конце зимних сезонов 2005–2007 гг. и численного анализа полученных данных наблюдений позволили установить количественные закономерности регионального выноса пыли, тяжёлых металлов и полиароматических углеводородов с территории г. Новосибирска. Восстановленные поля плотности выпадений загрязняющих примесей на снеговой покров в окрестностях города являются интегральной характеристикой длительного воздействия площадного источника на окружающую среду. Полученные закономерности указывают на возможность создания экономической системы мониторинга и получения на её основе оценки состояния длительного загрязнения атмосферы города и определения эмиссии характерных примесей с его территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, проект 16.6; РФФИ, грант 08-08-00632.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрявцева, Л.В. Оценка вклада дальнего переноса соединений серы и азота в их поступление в оз. Байкал / Л.В. Кудрявцева, С.Н. Устинова / Мониторинг и оценка состояния Байкала и Прибайкалья. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 86–92.
2. Бызова, Н.Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси / Н.Л. Бызова, Е.К. Гаргер, В.Н. Иванов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 279 с.
3. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 182 с.
4. Прокачева, В.Г. Снежный покров в сфере влияния города / В.Г. Прокачева, В.Ф. Усачёв. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 176 с.
5. Королева, Г.П. Исследование загрязнения снегового покрова как депонирующей среды (Южное Прибайкалье) / Г.П. Королева, А.Г. Горшков, Т.П. Виноградова и др. / Химия в интересах устойчивого развития. – 1998. – Т.6. – С. 327–337.
6. Климат Новосибирска. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 221 с.

© В.Ф. Раныта, 2008

УДК 551.5

А.А. Фоменко

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА

A.A. Fomenko

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (Computing Center), Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences 6, ave. Ac. Lavrentjeva, Novosibirsk, 630090, Russia

MODELING OF THE REGIONAL CLIMATE

The instrument of mathematical modeling is the major tool in the determination of tasks of mathematical physics, to which the problem of study of a climate and its changes concerns also. The changes of a climate caused by the natural and anthropogenesis factors grow out of complex nonlinear interactions of physical, chemical and biological processes in an atmosphere, ocean and ground. As the research of climatic system represents search of an explanation of behavior of a climate for the period from one year to centuries, the basic attention is given to study of mechanisms of interaction between the specified subsystems of climatic system. The present work is devoted to the description of the concept of creation of model of climatic system for research of a global climate and climate of Siberia on the basis of results received recently in a department of mathematical modeling in the field of physics of an atmosphere, ocean and problems of an environment of Institute of computational mathematics and mathematical geophysics of SB RAS.

Задача оценки влияния изменений климата на развитие биосферы и человеческого сообщества в целом, является первостепенной задачей современной науки. Важность решения этой проблемы определяется необходимостью выбора стратегии в дальнейшем развитии общества для предотвращения глобальных и региональных климатических и экологических катастроф.

Из существенных региональных проявлений глобальных изменений климата в Сибири можно выделить следующие:

- Трансформация гидрологического цикла в регионе, включающая изменение стока великих Сибирских рек и режима Больших Васюганских болот;
- Изменение зон вечной мерзлоты и как следствие – увеличение потоков метана в атмосферу;
- Повышение уровня океана и связанные с ним возможные катастрофические последствия для региона;

– Изменение ледовитости Арктических морей и изменение в связи с этим цикла пресной воды на Земном шаре.

Исследования, проводимые в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, направлены на изучение климатических изменений глобального и регионального масштабов, которые могут произойти в Сибири. В институте имеется большой опыт в решении сложных задач геофизической гидродинамики, к которым относятся проблемы изучения изменения климата Земли. Разработаны численные модели циркуляции атмосферы и океана, адекватно описывающие сложную нелинейную динамику атмосферных и океанических процессов, и методы усвоения данных наблюдений и верификации моделей.

Основные цели исследований можно сформулировать в виде двух задач:

- Определение и оценка региональных проявлений глобальных изменений климата в Сибирском регионе;
- Выделение и оценка возможного влияния региональных особенностей на климат в глобальном масштабе.

Проводимые исследования базируются на математических моделях, включающих в себя совместную модель циркуляции атмосферы, океана и суши, модели пограничных слоев, модели переноса и трансформации примесей в атмосфере и океане, а также класс моделей, дающих оценки влияния климатических изменений на различные компоненты экологической обстановки Сибирского региона.

В настоящее время в мировой практике используется достаточно широкий класс совместных климатических моделей. Наиболее известные из них такие, как модель Национального центра атмосферных исследований США [1], модель Макс-Планк института метеорологии Гамбургского университета [2], а также модели Института вычислительной математики РАН [3] и Главной геофизической обсерватории [4].

Глобальные модели общей циркуляции используются для моделирования климата, исследований влияния внешних факторов на климатические вариации на различных временных масштабах, для изучения обратного влияния на атмосферу подстилающей поверхности, покрытой льдами, растительностью и т. п. [7]. Тем не менее, они имеют ряд ограничений своей применимости, связанные с недостаточностью разрешения региональных особенностей. Одним из подходов, который позволяет обойти эти трудности, является моделирование регионального климата. Пространственное разрешение в региональных моделях климата увеличивается так, чтобы можно было явно описать мезомасштабные явления, которые обусловлены, в том числе и мезомасштабными особенностями подстилающей поверхности региона. На боковых границах в качестве краевых условий используются либо результаты глобального анализа наблюдений, либо данные численного моделирования общей циркуляции атмосферы. Идея регионального моделирования получила

развитие в работе [5] и нашла применение при исследовании регионального климата Сибири.

Модель климатической системы

Изменения климата, естественные или вызванные антропогенными причинами, являются результатом сложных нелинейных взаимодействий физических, химических и биологических процессов в атмосфере, океане и поверхности суши. Так как исследование климатической системы представляет собой поиск объяснения поведения климата на период от года до столетий, основное внимание в настоящее время следует уделить изучению механизмов взаимодействия между физическими, химическими и биологическими подсистемами.

Модель атмосферы. В настоящее время в этом направлении предпринята попытка создания глобальной совместной модели на базе моделей атмосферы Института вычислительной математики (ИВМ) РАН, Института вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН и модели биосферы поверхности Земли ИВМиМГ СО РАН. При этом большое внимание уделяется параметризации физических процессов подсеточных масштабов. Описание модели общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН и результаты моделирования глобального климата 1979–1995 гг. по международной сравнительной программе AMIP-II, в которой участвовала модель, представлены в работе [3]. Для моделирования глобального климата использованы реальные данные о температуре поверхности океана и распределении морских льдов за тот же период времени. Учитывается суточный и сезонный ход Солнца. Концентрация парниковых газов в атмосфере фиксируется.

Модели биосферы поверхности Земли являются одними из основных компонентов климатической системы. Модели поверхности Земли снабжают приземными потоками скрытого и явного тепла, коротковолновой и инфракрасной радиации модель общей циркуляции атмосферы. Потоки CO_2 у поверхности Земли, которые имеют ярко выраженный суточный и сезонный циклы, являются составной частью глобального цикла CO_2 и, следовательно, частью климатической системы.

Модели океана занимают одно из ключевых мест в создании базовой модели климата. Океан является важным фактором, влияющим на изменение климата Земли на временных масштабах больше года. Так, межгодовая изменчивость, проявляющаяся в возникновении явления Эль-Ниньо, существенным образом зависит от волновых процессов тропического океана. Периоды взаимодействий порядка столетий связаны с изменениями в термодинамической структуре Мирового океана. Региональная направленность исследований выдвигает в качестве акваторий, требующих особого внимания, северную часть Тихого океана и Арктический океан. Эти направления реализованы в виде моделей циркуляции Тихого, Арктического океанов, Северной Атлантики и Мирового океана в целом [8, 9, 10, 11].

Океан также является одним из основных регуляторов парниковых газов, так как наличие гидрофизических и биохимических процессов делает его как

источником, так и стоком. Таким образом, океан и его гидрохимические системы играют значительную роль в климатических изменениях. Вследствие этого необходима разработка моделей углеродного цикла в океане, моделей распространения сопутствующих биогенных элементов, а также моделей переноса и трансформации метана.

На основе всего вышесказанного развитие моделей океана проводится в двух направлениях:

- Моделирование циркуляции Мирового океана и его частей;
- Моделирование гидрохимических процессов в океане.

Модели морского льда. Морской лед является важной частью климатической системы. Льды полярных океанов привлекают внимание климатологов по двум причинам. Во-первых, глобальный цикл пресной воды управляется процессами формирования донных вод на севере и юге Атлантики. Вынос льда в низкие широты играет основную роль в этом цикле. Во-вторых, сценарные эксперименты по изучению отклика климатической системы на увеличение CO_2 показывают существенное потепление в полярных районах. Связанные с этим изменение процессов льдообразования и изменение гидрологического цикла требуют детального изучения. Модели льда представляются как двумерный континуум, характеризующийся такими переменными как толщина льда и снега, сплоченность льда и скорость его дрейфа [12]. Важной характеристикой также является учет внутренних напряжений в массе льда.

Методы усвоения данных наблюдений и верификация моделей. Моделирование климатических характеристик связано с необходимостью использования больших массивов данных наблюдений. Математическое моделирование в климатических задачах связано с созданием взаимодействующих комплексов модель – данные, объединенных в единое целое специальными алгоритмами, основанными на динамико-стохастических и вариационных подходах.

Организация модели климатической системы (МКС). МКС представляет собой систему, состоящую из отдельных компонентов, которые взаимодействуют между собой с помощью специального программного блока – интегратора совместной модели. Интегратор организует гибкое управление обменом данными между подмоделями атмосферы, биосферы, льда и океана. Такая программа позволяет выполнять климатические эксперименты, параллельно считая отдельные компоненты системы на разных процессорах.

Заключение

Сибирский регион, характеризующийся большими пространственными масштабами, является климатической зоной с континентальным и резко континентальным климатом в ее центральной части. Следствием этого своеобразия может являться то, что изменения климата на Земле в глобальном масштабе будут определенным образом проявляться в данном регионе, вызывая изменения характерных региональных составляющих климатического цикла. С другой стороны активное использование ресурсов Сибири, Дальнего Востока и

Арктического региона, включая Сибирский шельф, с сопутствующими процессами вырубки лесов, осушения болот на больших площадях, загрязнения воздуха и прибрежных вод Тихого и Ледовитого океанов могут проявляться в глобальных изменениях климатической системы.

Основные причины глобальных изменений климата определяются годовым балансом количества тепла, полученного планетой, его распределением в пространстве и сезонным распределением этого баланса.

Все факторы, воздействующие на климат взаимосвязаны, и их сложное нелинейное взаимодействие может быть оценено только на основе комплексного моделирования с использованием совместных климатических моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Boville B.A. and P.R.Gent // J.Climate. 1998. V.11. P. 1115–1130.
2. Roeckner E. Simulation of the present-day climate with the ECHAM model: Impact of model physics and resolution / E. Roeckner, K. Arpe, L. Bengtsson, et. al./ Hamburg, 1992. (Report / Max-Planck-Institut fur Meteorologie, № 93).
3. Алексеев В.А. Моделирование современного климата с помощью атмосферной модели ИВМ РАН. Описание модели А5421 версии 1997 года и результатов эксперимента по программе АМІР II / В.А. Алексеев, Е.М. Володин, В.Я. Галин, В.П. Дымников, В.Н. Лыкосов / М.: ИВМ РАН, 1998. 121 с.
4. Шнееров Б.Е., Мелешко В.П., Соколов А.П. и др. / Труды ГГО, 1997. № 544. С. 3–123.
5. Fomenko A.A. A finite-difference model of the atmospheric dynamics with the conservation laws / A.A. Fomenko, V.N.Krupchatnikov / Bulletin of the Novosibirsk Computing Center, Numerical Modeling in Atmosphere, Ocean and Environment Studies, № 1, 1993 – P. 17–31.
6. Krupchatnikoff V. / Russian J. Num. Anal. and Math. Modelling. 1998. V.13., № 6. P. 479–492.
7. Krupchatnikoff V.N. Numerical simulation of climate problems / V.N. Krupchatnikoff, V.I. Kuzin / UNESCO, EOLSS Publishers Co Ltd, part 6.4.5.3., pp25, 2005.
8. Кузин В.И. Отклик океана на атмосферные воздействия в период Эль-Ниньо. / В.И. Кузин, В.М. Моисеев / Метеорология и гидрология, М.: Изд. Центр «Метеорология и гидрология», 2002, № 7, С. 47–56.
9. В.И. Кузин Моделирование гидрофизических характеристик системы Северный Ледовитый океан – Северная Атлантика. В кн. «Фундаментальные исследования океанов и морей» / В.И. Кузин, Е.Н. Голубева, Г.А. Платов / ред. Н.П. Лаверов, М.: «Наука», Книга 1, 2006, С. 166–190.
10. Kuzin V.I. Numerical simulation of impurity and fresh water propagation in the Arctic-North Atlantic system. / V.I. Kuzin, E.N. Golubeva, G.A. Platov / Russian J. of Num. Analysis and Math. Modelling, 2002, Vol. 21, № 1, P 321–343.

11. Саркисян А.С. Математические модели циркуляции океанов и морей / А.С. Саркисян, В.Б. Залесный, Н.Д. Дианский, Р.А. Ибраев, В.И. Кузин и др. / Коллективная монография «Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования» / под ред. В.П. Дымникова / 2005. – Т. 2. С. 174–227.

© А.А. Фоменко, 2008

УДК 551.465.553

В.А. Шлычков

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Новосибирск

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В РУСЛЕ Р. ОБЬ ПОД НОВОСИБИРСКОМ

V.A. Shlychkov

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS

630090 Novosibirsk, Morskoy prospect, 2, k.417, IWER, Russia

NUMERICAL RESEARCH OF REDISTRIBUTION POLLUTANT IN A VEIN OF THE RIVER OB NEAR NOVOSIBIRSK

The paper presents a numerical model of planimetric currents in channel systems of a complicated spatial configuration. The model is based on two-dimensional Saint-Venant equations. The influence of non-homogeneous flow structure on the processes of admixture transport in the water is studied. A calculation of current and passive substance redistribution is presented for 16-km stretch of the Ob river near the city of Novosibirsk.

Исследование закономерностей перераспределения субстанции в речных руслах играет важную роль при анализе и интерпретации различных физических процессов. К ним относятся перенос загрязняющих примесей в воде, формирование ледовых и шуговых полей в период ледохода, перемещение твердых взвесей и русловые деформации а также ряд других процессов. Особенности транспорта концентрации в речном потоке обусловлены локальными динамическими условиями, которые в значительной степени связаны с морфометрией руслового ложа.

Речные системы Западной Сибири отличаются сложным многорукавным строением водотоков с многочисленными протоками, островами, поймами и узлами деления потока. Установление количественных связей в многосвязной системе русел представляет в этом случае серьезную теоретическую задачу, а компьютерная реализация численных моделей для расчета потоков сложной топологии основана на использовании нетривиальных вычислительных подходов. Как правило, применяются одномерные уравнения Сен-Венана с формулированием условий сопряжения потоков в точках ветвления.

Значительное внимание при разработке численных моделей в системах водотоков уделялось описанию переноса примесей [Васильев, Воеводин, 1975]. Акцент при постановке задач делался на правильной формулировке внутренних граничных условий в узловых точках, изучению возможности применения эффективных схем интегрирования, созданию алгоритмов оптимизации. Такая

одномерно-графовая схематизация для описания топологически сложных водных объектов имеет недостаточную универсальность, не позволяет учесть эффекты извилистости и меандрирования русел, углов сопряжения водотоков, влияния пойменных массивов, которыми, как правило, перемежаются рукава и протоки. Это обстоятельство приводит к необходимости учета плановой структуры течения. Очевидным преимуществом двумерной модели служит отказ от построения графа узлов ветвления и сложной системы прогонок по ребрам с итерационным согласованием в вершинах.

Цель данной работы заключается в изучении влияния морфологии разветвленного русла на процессы миграции пассивной субстанции в водной среде с применением численной модели плоских (плановых) течений.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для расчета гидравлических параметров речного потока используется двумерная система уравнений Сен-Венана. В горизонтальной плоскости введем декартову систему координат с осями x, y . Поверхность руслового ложа зададим уравнением $z = z_b(x, y)$, где z_b - функция, описывающая рельеф дна. Уравнения плановых течений запишем в виде [Стокер, 1959]

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu u}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} &= -gh \frac{\partial (h + z_b)}{\partial x} - \frac{g}{C_s^2} |u| u, \\ \frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv v}{\partial y} &= -gh \frac{\partial (h + z_b)}{\partial y} - \frac{g}{C_s^2} |u| v, \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где t - время, h - глубина потока, u, v - компоненты вектора средней по глубине горизонтальной скорости, g - ускорение силы тяжести, C_s - коэффициент Шези; $\mathbf{u} = (u, v)$, $|\mathbf{u}| = \sqrt{u^2 + v^2}$ - модуль скорости течения.

Сформулируем краевые условия. На входном створе, который позиционируем на некотором поперечнике русла, будем считать известным суммарный речной расход Q_1 . В поперечнике выходного створа задается уровень свободной поверхности, пересчитанный в термины глубин h .

Постановку гидродинамической задачи замыкают начальные условия на компоненты скорости $u = v = 0$ и пространственное распределение глубин h в момент $t = 0$. Искомые параметры течения были получены интегрированием уравнений (1) по времени до выхода на установившийся режим.

Базовые алгебраические соотношения получены на основе метода конечных объемов. Использовались криволинейные сетки с узлами, разнесенными по граням элементарного пространственного бокса [Шлычков, 2007]. Система уравнений (1) проецируется в непрямоугольный элементарный бокс со сторонами, близкими по направлению к криволинейным границам русла. Такой подход обеспечивает детализацию поперечной структуры потока на сравнительно небольшом числе узлов, расположенных на продольных образующих, приблизительно повторяющих изгибы русла. По времени использовался метод конечных разностей с применением неявных алгоритмов.

Пространственная дискретизация дифференциальных операторов основана на представлениях о схемах с невозрастанием полной вариации (Total Variation Diminishing, TVD), гарантирующих монотонность решения путем использования перестраивающегося шаблона и подходящего выбора аппроксимации производных в различных участках численного решения.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Сформулированная плановая модель водотоков апробирована на 16-километровом участке нижнего бьефа р. Обь под Новосибирском. Река на данном участке является судоходной, глубины в отдельных местах превышают 11 м. Геометрия русла в плане с элементами криволинейной сетки и распределением глубин показана на рис. 1 (направление течения показано стрелками). Русло имеет сравнительно сложное морфологическое строение: крупный остров Медвежий (обозначен символом «О» на рис. 1) делит поток на два основных рукава, от которых ответвляются мелкие протоки, образующие группы островов. Ширина рукавов не превышает 800–900 м, по более полноводному левому проходит судовой ход. В правобережье расположена городская зона отдыха (Заельцовский парк), ниже по берегам и на островах находятся многочисленные садовые общества.

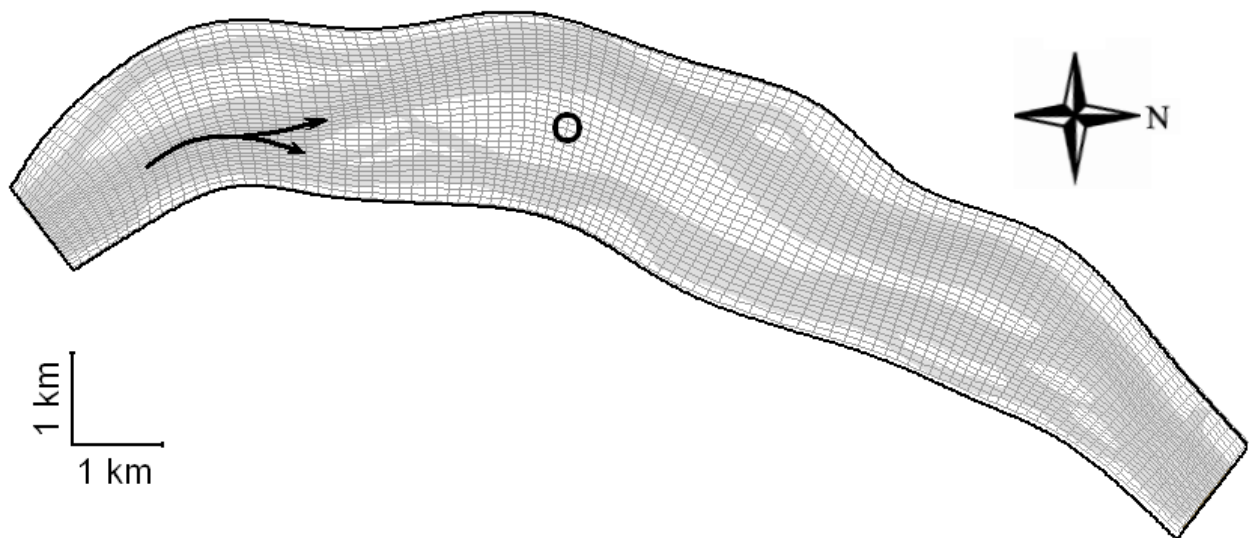


Рис. 1. Сеточная структура расчетной области и контуры руслар. Обь (серая заливка)

Формирование цифровой модели рельефа проводилось по результатам натурных съемок, проведенных экспедицией МГУ на данном участке реки в 2003–2004 гг. [Отчет..., 2005]. Натурные данные послужили основой для создания цифровой модели рельефа $z_{ij} = z_b(x_i, y_j)$ на криволинейной сетке, пригодной для использования в плановой численной модели.

Важным этапом вычислительной процедуры является алгоритм разбиения расчетной области на совокупность элементарных объемов (боксов), на которых строятся дискретные соотношения. Сетки произвольной структуры эффективно адаптируются под плановую геометрию расчетной области и особенностей

морфометрии. В настоящее время разработаны и широко используются алгебраические, геометрические и дифференциальные методы генерации сеток в областях произвольной формы. Алгебраические методы обладают рядом достоинств, к которым можно отнести простоту реализации, возможность построения координатных линий заданной конфигурации, высокая скорость автоматической обработки узлов и т. п. Наиболее эффективным в данном случае оказался гибридный подход, использующий алгебраический и дифференциально-вариационный методы, обладающий необходимой гибкостью и позволяющий регулировать свойства проектируемой сетки с помощью управляющих функций и параметров. При этом задача формирования системы сеточных узлов в произвольной области ставится для системы квазилинейных уравнений эллиптического типа с граничными условиями, определяемыми соответствием контура области и канонического прямоугольника – прообраза исходной области. Сетка, показанная на рис. 1, имеет 100×500 узлов в поперечном и продольном направлениях соответственно и обеспечивает среднее пространственное разрешение $20 \times 30 \text{ м}^2$. Меньший шаг в поперечном к оси русла направлении задан в связи с необходимостью более детального описания изменчивости потока при его перераспределении по рукавам.

Задача моделирования распространения пассивной примеси в двумерной постановке сводится к решению уравнения переноса и диффузии-дисперсии. Имея в виду изучение последствий опасных и катастрофических событий на реках, отметим, что на траверзе п. Кудряши (что примерно соответствует положению входного створа расчетной области) расположены городские очистные сооружения, которые осуществляют постоянный выпуск в р. Обь сточных вод. При авариях на станции возможен залповый сброс неочищенных вод высокой концентрации, в связи с чем возникает необходимость количественных оценок попадания загрязнения в парковую часть города по водотоку правого рукава. В соответствии с этим зададим на входной границе постоянное и равномерно распределенное в поперечнике значение $c = 1$ и рассмотрим процесс формирования поля концентрации по длине русла.

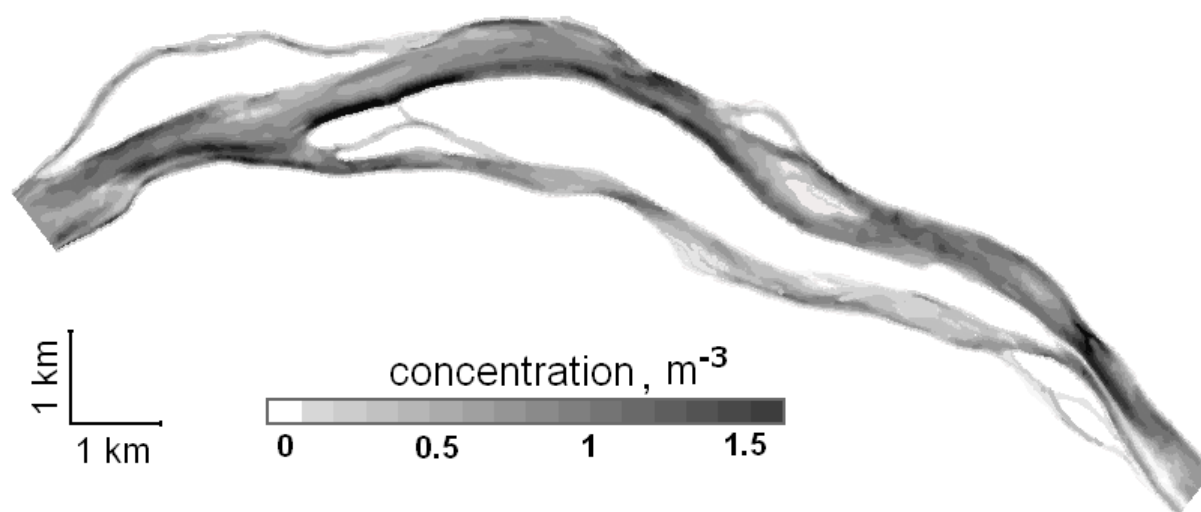


Рис. 2. Пространственное распределение концентрации загрязнителя в русле

Установившаяся со временем пространственная картина распределения примеси представлена на рис. 2. Можно видеть, что в расчетной области образуется ряд зон повышенной концентрации, в которых $\langle c \rangle$ превышает ординар на 50 % (темные участки на рис. 2). Как правило, эти зоны формируются в областях торможения потока, где вынос и рассеяние субстанции затруднены. Отсюда следует, что в случае аварийных сбросов длительного действия можно ожидать аккумуляцию загрязнителей в водотоке левого рукава, заметно превышающую концентрацию источника эмиссии. В правом рукаве значения $\langle c \rangle$ не превышают единицу и уменьшаются вниз по потоку.

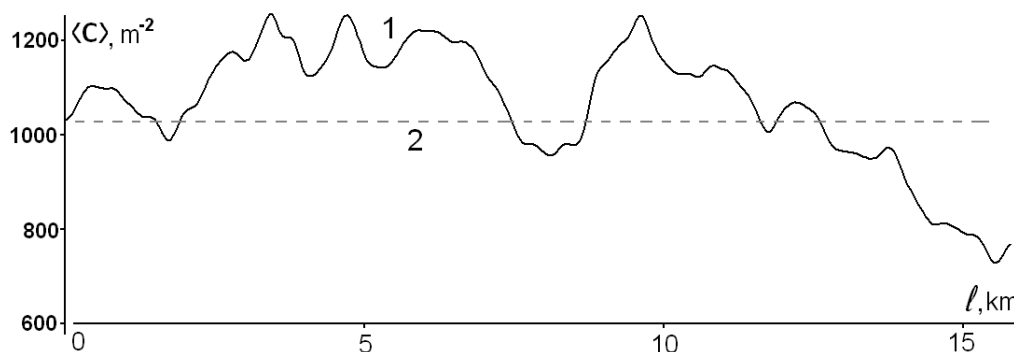


Рис. 3. Пространственное распределение суммарной концентрации загрязнителя

На рис. 3 показано распределение суммарного по поперечному сечению количества примеси $\langle c \rangle$ вдоль маршевой координаты русла ℓ . Здесь также хорошо заметна неоднородность концентрации по потоку — значения $\langle c \rangle$ варьируют в пределах 20–25 % от «невозмущенного» среднего, задаваемого на входном створе (пунктир 2). Из сопоставления кривых 1,2 на рис. 3 следует, что подмеченная неоднородность концентрации в русле обусловлена неравномерностью распределения скоростей течения — в однородном потоке со скоростью, не меняющейся вдоль русла, концентрация остается постоянной по всей длине, как это показывает кривая 2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев О.Ф. Математическое моделирование качества воды в системах открытых русел. Динамика сплошной среды. / Воеводин А.Ф. // Новосибирск: Институт гидродинамики СО АН СССР, 1975. № 22. — С. 73–88.
2. Мак-Доуэлл Д.М. Гидравлика приливных устьевых рек. / Коннор Б.А. М.: Энергоатомиздат. 1983. — 312 с.
3. Отчет по НИР «Выполнить комплексные исследования гидрологического и руслового режима р. Оби (Новосибирская ГЭС — с. Дубровино), оценить современное состояние и разработать прогноз деформаций русла и посадки русла». М.: МГУ, 2005. — 206 с.
4. Стокер Дж. Дж. Волны на воде. М: Изд-во иностр. лит., 1959. — 618 с.

5. Шлычков В.А. Численное исследование разрешения неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в русловом потоке с поймой / В.А. Шлычков / Сибирский журнал вычислительной математики. – 2007. – Т. 10. № 4. – С. 417–428.

© В.А. Шлычков, 2008

УДК 551.511.42.001

А.А. Леженин, В.М. Мальбахов

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

Т.С. Селегей

СибНИГМИ, Новосибирск

В.А. Шлычков

ИВЭП СО РАН, Новосибирск

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ Г. ТОМСКА

*A.A. Lezhenin *, V.M. Mal'bakhov *, T.S. Selegei **, V.A. Shlychkov ****

**Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS,
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia,*

***Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute, Novosibirsk*

**** Institute Water and Environmental Problems SB RAS (Novosibirsk branch
630090 Novosibirsk, Morskoy prospect, 2, k.417, IWEП, Russia*

NUMERICAL SIMULATION OF TRANSPORT OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS WITHIN TOMSK CITY

A few-component model of atmospheric air circulation for a steady stratified boundary layer is used to calculate pollutant transport over a territory with complex physical-geographical conditions. The model is based on shallow water equations, in which the forces of friction of the flow against the underlying surface and turbulent exchange are taken into account. Numerical experiments reproducing the wind regime in the Tomsk city characterized by complicated details of local relief are presented. Calculated velocity fields are used in the problem of transporting formaldehyde, an ecologically dangerous pollutant discharged by the city enterprises.

Метеорологические ситуации, при которых в нижних слоях атмосферы наблюдается устойчивое распределение температуры воздуха с высотой, являются наиболее неблагоприятными для рассеивания выбрасываемых промышленными предприятиями загрязняющих примесей. Эффективным инструментом для исследования таких процессов может служить математическое моделирование.

В работе представлена малокомпонентная модель циркуляции атмосферного воздуха, записанная для устойчиво стратифицированного пограничного слоя, предназначенная для расчета параметров воздушного потока и переноса загрязняющей примеси в условиях сложной орографии.

Структура воздушного турбулентного потока над различными типами подстилающей поверхности в настоящее время хорошо изучена экспериментально и теоретически. В приземном слое с высокой точностью

выполняются соотношения подобия, согласно которым динамические параметры потока подчиняются автомодельным зависимостям вида [1]

$$K \frac{\partial u}{\partial z} = c_d u_m u, \quad K \frac{\partial v}{\partial z} = c_d u_m v, \quad (1)$$

где z - вертикальная координата, u, v - компоненты скорости ветра, $u_m = \sqrt{u^2 + v^2}$, c_d - коэффициент трения потока о неровности подстилающей поверхности, K - коэффициент турбулентного обмена.

Опираясь на факт подобия процессов по вертикали, трехмерную структуру искомых полей аппроксимируем в виде

$$\Phi(x, y, z, t) = \Phi_1(x, y, t) \cdot \Phi_2(z), \quad (2)$$

где вектор-функцию Φ_2 будем считать безразмерной величиной со структурой, определенной универсальными функциями. Примем толщину устойчивого слоя h в качестве искомой переменной $h = h(x, y, t)$. Уравнение для определения компонентов Φ_1 получим путем подстановки (2) в уравнения гидродинамики пограничного слоя атмосферы и их осреднения по вертикали от $z = \delta$ до $z = h$, где $\delta(x, y)$ - функция, описывающая рельеф. Отбрасывая индекс «1» у переменных, уравнения движения и неразрывности запишем в виде [2]

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \alpha \left(\frac{\partial hu u}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} \right) &= -\lambda \cdot \Delta T \cdot h \frac{\partial(h+\delta)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} hK \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} hK \frac{\partial u}{\partial y} + \tau_x - c_d u_m u; \\ \frac{\partial hv}{\partial t} + \alpha \left(\frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv v}{\partial y} \right) &= -\lambda \cdot \Delta T \cdot h \frac{\partial(h+\delta)}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} hK \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} hK \frac{\partial v}{\partial y} + \tau_y - c_d u_m v; \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\Delta T > 0$ - вертикальный перепад температур между устойчивым приземным слоем и вышележащей свободной атмосферой, λ - параметр плавучести, α - т.н. корректив скорости, отражающий неравномерность вертикального распределения u, v , τ_x, τ_y - ветровые напряжения на верхней границе слоя, коэффициент сопротивления c_d характеризует шероховатость подстилающей поверхности, K - коэффициент турбулентного обмена.

В горизонтальной плоскости введем декартову прямоугольную систему координат (x, y) , в которой ось x - на восток, а ось y - на север. Определим область решения в виде прямоугольника

$$0 \leq x \leq L_x, \quad 0 \leq y \leq L_y,$$

где L_x, L_y - размеры области по горизонтали. Граничные условия сформулируем в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial n} = \frac{\partial v}{\partial n} = 0 \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma, \\ h = h_\Gamma, \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma^+, \quad \frac{\partial h}{\partial t} + C_\Gamma \frac{\partial h}{\partial n} = 0 \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma^-, \end{aligned} \quad (4)$$

где Γ - граница области, Γ^+ - участки втекания потока в область, Γ^- - участки, где поток направлен из области, n - внешняя нормаль, C_Γ - групповая

скорость вблизи соответствующей границы. Условие для h в (4) на выходной границе Γ^- обеспечивает принудительный вывод приграничных возмущений из области. Величина h_Γ в (4) характеризует среднее значение толщины устойчивого слоя.

Имея в виду проведение климатических расчетов с различными направлениями скоростей согласно розе ветров, определим способ задания внешнего ветра. Силы, приводящие систему в движение, определяются величинами τ_x, τ_y , которые необходимо задать как независимые внешние параметры. Для этого используется следующий прием. Согласно соотношениям (1) в квазистационарном и горизонтально однородном приземном слое «источниковые» члены в уравнениях импульса (3) уравнивают друг друга

$$\tau_x = c_d u_m u, \quad \tau_y = c_d u_m v, \quad (5)$$

что позволяет оценить значения ветровых напряжений по заданным скоростям u, v , выбираемым из розы ветров для данной местности. При восстановлении модельных полей ветра на реальном рельефе расчетные скорости заметно отклоняются от равновесных значений и параметры τ_x, τ_y приходится пересчитывать, т.е. подбирать опытным путем так, чтобы средняя по области скорость ветра была близка по модулю и направлению к данным розы ветров.

Коэффициент турбулентного обмена K рассчитывается с помощью соотношения [3]

$$K = \frac{\Delta s}{2} \sqrt{D_T^2 + D_S^2}, \quad (6)$$

где $\Delta s = \Delta x \cdot \Delta y$ – площадь элементарного бокса, $D_T = u_x - v_y$, $D_S = v_x + u_y$ – компоненты плоской деформации.

Таким образом, задача расчета пространственного распределения метеополей сведена к решению уравнений однослойной модели для определения осредненных по вертикали скоростей u, v и толщины устойчивого слоя h как искомым компонентом решения.

Методы решения динамических уравнений основаны на дискретизации исходных систем в сеточной области. Используется равномерная прямоугольная сетка с узлами, разнесенными по граням элементарного пространственного бокса [4]. Пространственная дискретизация операторов адвекции реализована по TVD-схеме (Total Variation Diminishing) с невозрастанием полной вариации, гарантирующей монотонность решения путем использования, перестраивающегося шаблона. По времени применялся неявная схема, при этом TVD-части алгоритмизировалась в соответствии с методом [5].

Уравнение, описывающее перенос примеси, запишем в виде

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial huC}{\partial x} + \frac{\partial hvC}{\partial y} = \frac{1}{Sm} \left(\frac{\partial}{\partial x} hK \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} hK \frac{\partial C}{\partial y} \right) + J, \quad (7)$$

где C – концентрация ($\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$), Sm – число Шмидта, J – интенсивность источников эмиссии ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$).

Краевые условия на боковых границах для уравнения (7) сформулируем как

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma. \quad (8)$$

Величина коэффициента сопротивления подстилающей поверхности задавалась значением $c_d = 3 \cdot 10^{-3}$. В пределах городской черты это значение было увеличено в 10 раз для описания повышенной шероховатости городской застройки.

С помощью предложенной модели была проведена серия численных экспериментов по моделированию циркуляции воздуха и переноса формальдегида в городе Томске. Для нижних слоев атмосферы Томска характерным является устойчивое распределение температуры с высотой. Повторяемость температурных инверсий в Западной Сибири составляет 50–60 % [6]. Средняя за год мощность температурных инверсий составляет 450 м с амплитудой вариации 300 м и интенсивностью около 4 °С. В большей половине года в городе создаются условия, способствующие скоплению в приземном слое вредных выбросов из заводских труб [7]. Согласно инвентаризационной документации по г. Томску в черте города находятся более 50 промплощадок с консолидированной интенсивностью выбросов формальдегида 46.07 г/с. Источник с максимальной мощностью 42.92 г/с расположен к северу от города на территории нефтехимического комбината. Второй по значимости является эмиссия фабрики, занимающейся производством древесно-стружечной плиты. Объемы выбросов других источников, разбросанных по территории города, на порядки уступают двум упомянутым. Поступление формальдегида в атмосферу от городского транспорта в расчетах не учитывалось.

Равномерная конечно-разностная сетка включала 450×390 (более 175 тысяч) узлов и обеспечивала пространственное разрешение с шагами $\Delta x \approx 51$ м, $\Delta y \approx 93$ м. Необходимые для модели морфометрические данные (цифровая модель рельефа - ЦМР) исследуемой территории выбирались с 3-секундным разрешением. Расчет средней годовой концентрации формальдегида проводился в следующем порядке. Вначале решалась система динамических уравнений (3) для каждого из 8 направлений розы ветров. Уравнения интегрировались по времени до момента выхода решения на стационарный режим. При задании средней скорости ветра на румбах использовалась климатическая информация по Томску [7]. На структуру поля ветра и характер проветривания территории оказывает влияние положение города на возвышенном правом берегу р. Томи. Преобладающими в городе являются южные ветра, но при удалении от реки (восточные и северо-восточные части города) увеличивается влияние юго-западных ветров. Расчетные поля скоростей и турбулентности использовались далее при решении уравнения переноса формальдегида (7) с постоянно действующими источниками, где также был получен установившийся режим. Последний характеризуется балансом объемов выброса и потоком массы через открытые границы, причем некоторая часть примеси остается внутри области, где перераспределяется в соответствии с локальной структурой ветра. Найденные таким образом 8 частных полей концентрации (по числу румбов) суммировались с весами, определяемыми

относительным вкладом каждого из румбов в розе ветров, и образовывали итоговое поле концентрации.

Результаты расчета иллюстрирует рис. 1а, на котором показаны изолинии концентрации $\bar{C} = \frac{C}{\text{ПДК}}$, нормированные среднесуточным значением ПДК_{сс} (для формальдегида ПДК_{сс} = 0.003 мкг/м³) на уровне $z = 2$ м от поверхности. (Значения $\bar{C} < 1$ на рисунке не приведены.)

Дифференциация вертикального профиля по вертикали проводилась по формулам гауссова факела [8] с масштабированием рассчитанной величиной hC

$$\int_{\delta}^h C_z(z) dz = hC, \quad (9)$$

где $C_z(z)$ - значение концентрации на уровне z .

Из рис. 1а видно, что область влияния главных источников эмиссии покрывает практически всю территорию города, где средняя концентрация изменяется в пределах 1-3 ПДК. Экстремальное содержание формальдегида 10-12 ПДК наблюдается в непосредственной близости от района выброса, а шлейф с максимумом концентрации распространяется в южном направлении, проходя вдоль русла реки и примерно повторяя конфигурацию береговой террасы. От магистрального шлейфа на восток ответвляется несколько языков, которые обуславливают повышение C в овражно-долинных понижениях рельефа. Транспорт примеси в долины связан с ветрами восточного сектора, причем геометрия боковых струй определяется орографическим вынуждением со стороны склонов долины, что хорошо заметно по извилистой форме языка вдоль меандрирующего русла р. Ушайки (рис. 1а).

На рис. 1б представлено поле концентрации, полученное по численной модели (3)–(6) без учета орографических неоднородностей поверхности. Прочие условия численного эксперимента (роза ветров, параметры алгоритма) оставались неизменными. Сопоставляя поля $\bar{C}$ на рис. 1, приходим к выводу, что наличие сложного рельефа вблизи г. Томска обуславливает повышение концентрации формальдегида и приводит к ухудшению экологической обстановки в городе по сравнению с гипотетическим вариантом расположения города на орографически однородной местности.

Направление северных ветров является наиболее неблагоприятным для городской атмосферы по причине близкорасположенных мощных источников в северной части области. В связи с этим представляет интерес рассмотреть пример единичного расчета переноса формальдегида под влиянием северного ветра силой 3 м/с. Рис. 2 показывает расчетную конфигурацию факела, сформированного совокупностью всех действующих источников (здесь концентрация нормирована максимальным разовым значением ПДК_{мр} = 0.035 мкг/м³, отображены области с $\bar{C} \geq 1$). Видно, что область превышения предельно допустимых значений выражена в виде сравнительно узкой струи, в которой максимум превышения, равный 14, достигается вблизи основного источника 1. Область высоких концентраций охватывает всю северную часть пригородной территории, но практически не попадает в черту города. Анализ

поля скорости показывает, что при данном направлении ветра отчетливо проявляются эффекты обтекания города в целом как ландшафтного объекта с высокой шероховатостью. В соответствии с этим северный поток отклоняется в сторону от города и следует по долине р. Томь, увлекая за собой облако примеси. В результате формируется выраженная струя (рис. 2), выходящая из ядра основного облака. По мере продвижения на юг содержание формальдегиды в шлейфе падает и становится близким к значению 1 ПДК.

Полученные модельные оценки влияния переноса формальдегиды на воздушный бассейн города Томска представляются реалистичными как в свете литературных данных, так и фактических материалов. Эти результаты нуждаются в уточнении за счет тщательной верификации и надежной калибровки динамического и экологического блоков, проведения дальнейших расчетов вертикальной детализацией метеорологических характеристик и на основе широкого использования материалов наблюдений. В этом аспекте данная разработка является предварительной и может служить стартовой для развития физически и алгоритмически обогащенной адекватной модели миграции примесей в окрестностях г. Томска.

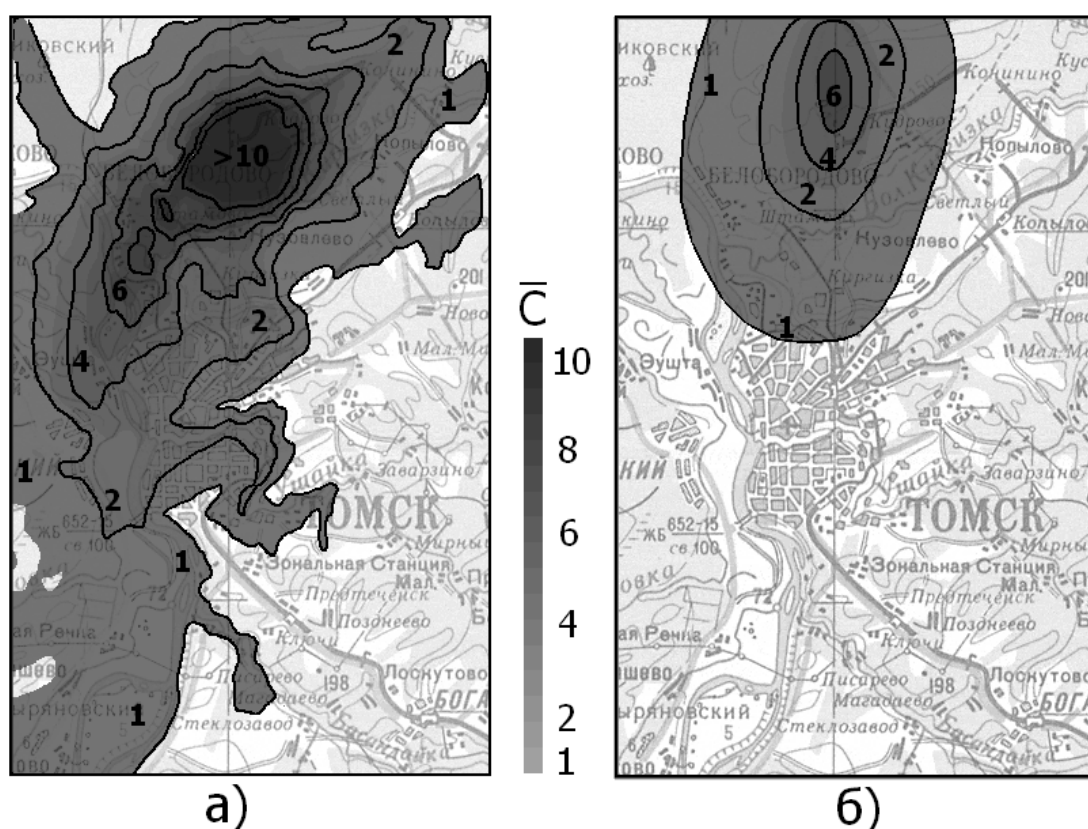


Рис. 1. Нормированная концентрация формальдегида, полученная по численной модели с учетом рельефа (а) и без его учета (б)

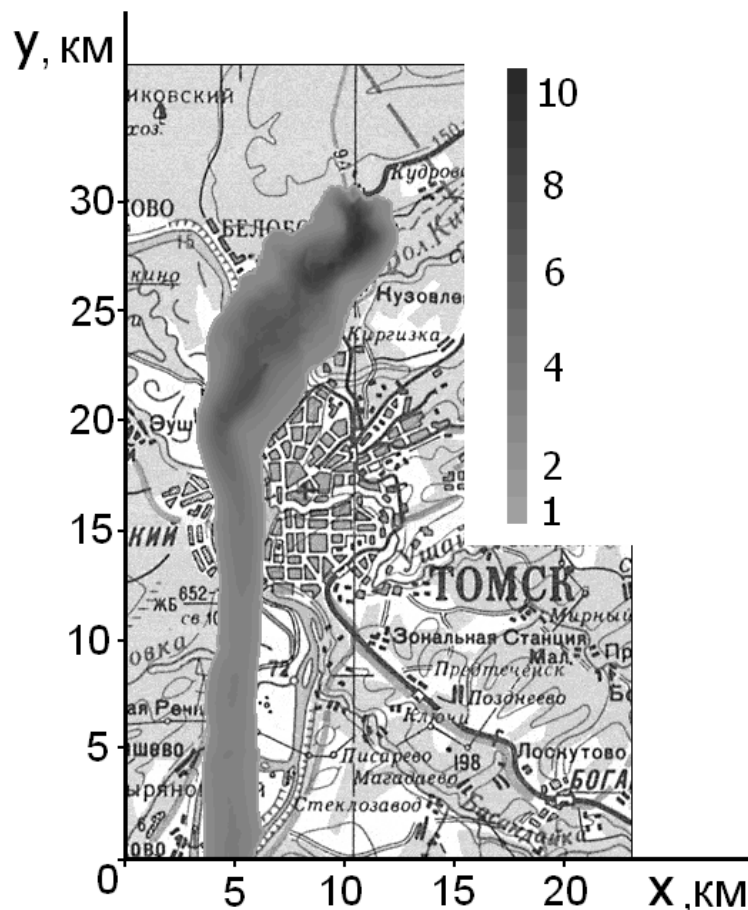


Рис. 2. Расчетная конфигурация факела, сформированного совокупностью всех источников формальдегида

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Монин, А.С. Статистическая гидромеханика. Т. 1. / А.С. Монин, А.М. Яглом. – С.-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. – 694 с.
2. Гутман, Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов / Л.Н. Гутман. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 295 с.
3. Smagorinsky J., Manabe S., Hollway J. Numerical results from a ninelevel general circulation model of the atmosphere / Month. Weather Rev. – 1965. – V. 93, № 8. – P. 727–768.
4. Шлычков, В.А., Численное моделирование циркуляции воздуха и переноса примеси в городских агломерациях с явным учетом ландшафта / В.А. Шлычков, А.И. Бородулин, Б.М. Десятков. / Оптика атмосферы и океана – 2005. – Т.19, № 6. – С. 552–556.
5. Harten A. On a class of high resolution total-variation-stable finite-difference schemes / SIAM Journal of Numerical analysis. – 1984. – V. 21, № 1. – P. 1–23.
6. Селегей, Т.С. Формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах Сибири / Т.С. Селегей. – Новосибирск. Наука, 2005. – 347 с.
7. Климат Томска / под ред. С.Д. Кошинского. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 176 с.

8. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / под ред. Ф.Т.М. Ньистада и Х. Ван Допа. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 351 с.

© А.А. Леженин, В.М. Мальбахов, Т.С. Селегей, В.А. Шлычков, 2008

УДК 551.465+519.63

В.В. Малахова

ИВМиМГ, Новосибирск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА МЕТАНА В ОКЕАНЕ ОТ ИСТОЧНИКОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКОЙ ФЛЮИДОВ

V.V. Malakhova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics

Pr. Lavrenteva, the house 6, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

MODELLING OF METHANE TRANSPORT IN THE OCEAN FROM THE SOURCES CAUSED SUBMARINE FLUID VENTING

As part of the global carbon cycle, enormous quantities of methane occur in marine sediments. One mechanism to release methane from the sediment to the ocean is through submarine mud volcanism, hydrocarbon seeps and vents. Accordingly, methane dissolved from the plume may transfer to surface waters and, thus, potentially be released to the atmosphere. The three-dimensional mathematical model of the dissolved gas transport by the ocean currents is used for the quantitative evaluation of the scale of a possible methane flux into the atmosphere from the submarine fluid venting.

The climatic large-scale currents field is obtained from the three-dimensional global model of the ocean dynamics. The problem was solved numerically on a spatial grid with resolution of 3 degrees in latitude and in longitude and with 24 levels on the vertical. A three-dimensional equation of transport of dissolved methane from sources is simultaneously solved. The calculated methane flux into the atmosphere was exceeding 9-20 Tg/year.

Увеличение содержания метана в атмосфере способствует усилению парникового эффекта, так как метан интенсивно поглощает тепловое излучение Земли. Учет вклада CH_4 в парниковый эффект дает до 15 % прироста средней температуры, что в четыре раза меньше аналогичной оценки для углекислого газа, соответствующей 61 %, тем не менее, потенциальный вклад метана в глобальное потепление, в 20–27 раз больше, чем потенциал углекислого газа [1]. Увеличение концентрации метана в атмосфере составляет 1-2 % в год, что превышает рост углекислого газа. Так за последние сорок лет концентрация метана увеличилась примерно на 30 %, и в настоящее время составляет 1 750 ppb [2].

Роль Мирового океана в качестве источника глобального поступления метана в атмосферу оценивается разными авторами в пределах 3–50 Мт в год, при его ежегодном бюджете 457–1 665 Мт/год [1]. Как видно, океаны вносят незначительный вклад в общий баланс, всего 2-4 %. По другим оценкам поток

метана только из областей его постоянной разгрузки на континентальном шельфе может составлять от 8 до 65 Мт ежегодно [3]. Такое расхождение в оценках объясняется слабой изученностью потока abiогенного метана из литосферных источников, к которым относятся залежи газогидратов, гидротермальные системы COX, флюидные сипы, газовые венты, грязевые вулканы и др. [1]. Известно, что субмаринная разгрузка флюидов характерна для определенных участков дна Мирового океана, местоположение и размеры, которых представлены в работах [4, 5]. Результаты многочисленных исследований показывают, что к местам подводной разгрузки газов приурочены газогидраты, расположенные непосредственно на поверхности морского дна. Такая связь подтверждает существование постоянного подтока метана для образования газогидратов [6].

В целом, морская вода недонасыщена метаном по сравнению с его растворимостью от поверхности до самого дна. Поэтому Мировой океан является практически бесконечным резервуаром для метана, который может поступать в воду в районах разгрузки глубинных флюидов [6].

В данной работе представлена модель переноса метана от источников, обусловленных процессами подводной разгрузки глубинных флюидов. Кратко опишем структуру разработанной модели.

На первом этапе определяется начальное термохалинное состояние океана. Климатическое состояние океана было получено из трехмерной линейаризованной модели динамики Мирового океана, включающей сезонную изменчивость, с учетом реальной топографии дна, Арктического бассейна и Средиземного моря. Задача решалась в полигональной области Мирового океана от 76,5° ю. ш. до 88,5° с. ш. на трехградусной сетке с 24 вертикальными уровнями до достижения квазистационарного состояния через время порядка нескольких тысяч лет.

Начиная с этого климатического состояния океана, система уравнений динамики океана интегрируется с временным шагом 10 суток. Одновременно решается трехмерное адвективно-диффузионное уравнение переноса метана. Адвективно-диффузионный процесс распространения газа-трассера, растворенного в морской воде, концентрацию которого обозначим через C , будем описывать уравнением [7]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{u}{a \sin \theta} \frac{\partial C}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial C}{\partial \theta} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \kappa \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\mu}{a^2} \Delta C. \quad (1)$$

На поверхности океана: $C = C^*(\theta) = (1 + \cos(\theta)) \cdot 50 \text{ нл/л}$.

На боковой поверхности Γ : $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$

$$\text{На дне океана } z = H: \begin{cases} \kappa \frac{\partial C}{\partial z} = 0, \text{ нет источника метана} \\ C = 500 \cdot 10^{-5} \text{ мл/л} = 5000 \text{ ppb, источник} \end{cases}. \quad (2)$$

Использованы следующие обозначения: u, v, w – компоненты вектора скорости по координатам λ, θ, z , где λ долгота, θ дополнение широты до 90° , z направлена вертикально вниз; $\mu(z), \kappa(z)$ – коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентной диффузии; a – средний радиус Земли; t – время; $H(\lambda, \theta)$ – рельеф дна, Γ – боковая поверхность области.

Заданные на поверхности значения концентраций метана изменяются зонально от 50 ppb в южных высокоширотных областях океана до 100 ppb в северных высокоширотных областях.

В результате геологических исследований Мирового океана в течение последнего десятилетия обнаружено более 70 участков подводной разгрузки метана, которые описаны в работах [5, 6]. В основном эти участки расположены в периферических районах океана, охватывающих шельфы, континентальные склоны и приконтинентальные глубоководные желоба. В модели источники метана задаются на дне океана, в соответствии с данными работ [5, 6] и представлены на рис. 1.

В придонных точках, где предполагается наличие источника, задается повышенная концентрация метана в 100 раз превосходящая среднее фоновое значение $C_0 = 50$ нл/л (первый эксперимент), либо задается фильтрационный поток метана с учетом его растворимости в морской воде (второй эксперимент).

Такой подход подтверждается измеренными данными о концентрации метана в океанских водах. В монографии Обжирова [8] приводится пример впадины Дерюгина, где на станции 228 с выходом газа, содержание метана в 100 раз больше, чем на соседней станции, где выход газа не обнаружен.

По результатам измерений, проведенным в Охотском море, концентрация метана внутри газового потока оказалась равной 20 ppb, что в 400 раз превышает среднюю концентрацию [9]. Метан, выделившийся в результате глубинной разгрузки, разносится океаническими течениями, как это наблюдалось на разрушающемся газогидратном поле в кальдере грязевого вулкана Хаакон Мосби в Норвежском море [6]. Результаты прямого геохимического опробования дали аномально высокие значения концентраций метана на 80 метров над вулканом.

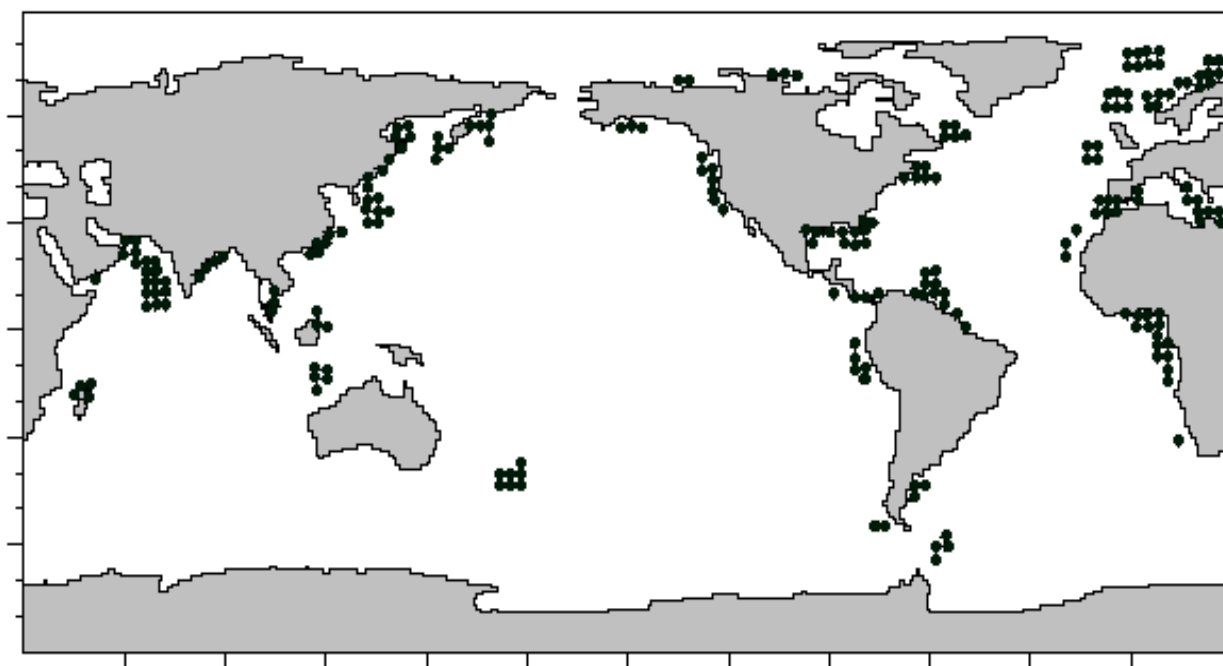


Рис. 1. Модельное распределение источников метана на дне океана в соответствии с данными [5, 6]

В дальнейшем исследуется модельный перенос растворенного метана океаническими течениями в акватории Мирового океана, и рассчитывается поток метана в атмосферу. Поток метана через поверхность океана является функцией температуры поверхностной воды T и скорости ветра V [10]:

$$F = a^2 q \iint_{\Omega} 0.31 V^2 \left(\frac{Sc}{660} \right)^{-0.5} \left[\kappa \frac{\partial C}{\partial z} \right]_{z=0} d\Omega, \quad (3)$$

где $q = 0.7169 \cdot 10^{-3}$ – удельный вес метана, Sc – число Шмидта определяется по формуле:

$$Sc = 2039.2 - 120.31T + 3.4209T^2 - 0.040437T^3.$$

При этом предполагается, что весь метан растворяется в морской воде, и пузырьки метана непосредственно атмосферы не достигают.

Были проведены два численных эксперимента. Каждый эксперимент начинался с одних и тех же начальных рассчитанных климатических полей. Время интегрирования численной модели климата Мирового океана совместно с уравнением переноса метана составило порядка 500 лет. В каждом эксперименте находится диффузионный поток метана в атмосферу.

В первом эксперименте этот поток метана в атмосферу составил 9 Тг/год. Средняя концентрация растворенного метана в океане выросла до 650 нл/л. На рис. 2 показано горизонтальное распределение растворенного метана на глубине 350м. Как видно, растворенный метан переносится океаническими течениями от источников по всей акватории океана. Сильное влияние на распределение метана оказывает горизонтальная циркуляция в океане. Так большие значения концентраций в тропиках Тихого океана обусловлены

течением западного направления. Заметен также адвективный перенос метана в области Куроисио.

В описанном эксперименте источники метана задавались косвенным образом в виде увеличения концентрации растворенного метана в 100 раз. Во втором эксперименте проверяется влияние сценарного параметра – мощность источника.

Далее источник метана в модели задается с учетом скорости фильтрационного выноса метана, растворенного в поровой воде. Для фильтрационного потока растворенного компонента предложено выражение, [6]: $q_c = V_f(C_p - C)$, $V_f = D/\delta$, где C_p – растворимость метана в морской воде, V_f – скорость восходящей фильтрации, $\delta = 1$ см – толщина диффузионного подслоя, $D = 10^{-5}$ см²/с – коэффициент молекулярной диффузии метана в воде. Используется прием, когда вблизи дна выделяется узкий диффузионный подслей, в котором считают, что весь перенос осуществляется только молекулярной диффузией.

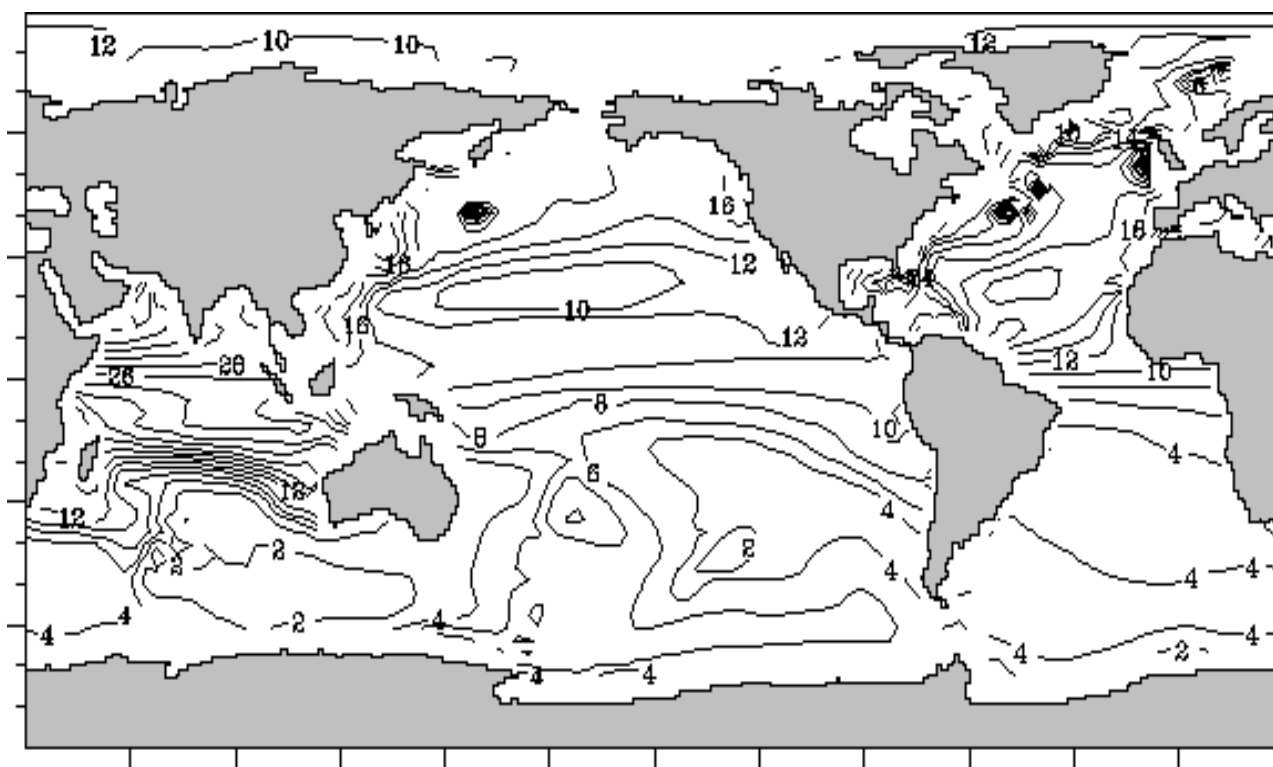


Рис. 2. Распределение растворенного метана в океане на глубине 350м, в нл/л, полученное в первом численном эксперименте через 500 лет модельного времени. Значения на изолиниях в у. е. (1 у. е. = $5 \cdot 10^{-5}$ мл/л)

Для определения растворимости метана в морской воде использовалось выражение [11]: $C_p = 0.4342 \frac{\rho^{0.64}}{(T + 5.278)^{0.3882}}$ в см³/г, где ρ – давление в кг/см², T – температура в градусах. Растворимость метана в поверхностных водах

составляет величину порядка 30-50 мл/л, и быстро растет с глубиной, достигая 1200 мл/л и более.

Мощность источника во втором эксперименте зависит от растворимости метана в морской воде и различна для всех модельных точек. Это привело к увеличению концентрации метана в зонах разгрузки газов, расположенных на больших глубинах, в то же время в мелководных районах мощность источника уменьшилась. Модель была проинтегрирована на срок 500 лет до установления. Максимальный поток метана в атмосферу во втором эксперименте увеличился, и составил 21 Тг/год. Средняя концентрация растворенного метана в морской воде составила 1500 нл/л.

Таким образом, модель дает значения потока метана в атмосферу в результате подводной разгрузки глубинных флюидов – газовым сипам, вентам, грязевым вулканам, которые лежат в пределах имеющихся в литературе оценок, [3, 10, 12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адушкин В.В. Соотношение антропогенной и природной составляющей в потоке газов в атмосферу / В.В. Адушкин, С.П. Соловьев, С.Б. Турунтаев / Глобальные изменения природной среды – 2001. – Новосибирск. – Изд-во СОРАН. – 2001. – С. 249–265.
2. Wuebbles D.J. Atmospheric methane and global change / D.J. Wuebbles, K. Hayhoe / *Earth-Science Reviews*. – 2002. – V. 57. – P. 177–210
3. Hovland M. The global flux of methane from shallow submarine sediments / M. Hovland, A.G. Judd, R.A. Burke / *Chemosphere*. 1993. V. 26. P. 559–578.
4. Milkov A.V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates / *Marine Geology*. 2000. V. 167. P. 29–42.
5. Mazurenko L.L. Worldwide distribution of deep-water fluid venting and potential occurrences of gas hydrate accumulations / L.L. Mazurenko, V.A. Soloviev / *Geo-Mar. Lett.* 2003. V. 23. P. 162–176.
6. Егоров А.В. Формирование и разложение газогидратов в осадках Арктического подводного грязевого вулкана Хаакон Мосби / в кн. «Опыт системных океанологических исследований в Арктике». М.: Научный мир. 2001. С. 511–521.
7. Щербаков А.В., Малахова В.В. Математическое моделирование потока метана в атмосферу в результате разложения метангидратов Мирового океана // *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Том 18. № 5–6. С. 485–489.
8. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. – М.: Наука. 1993. 139 с.
9. Obzhairov A., Suess E., Salyuk A. and at. Methane Flares of the Ohkotsk Sea // *Abstracts book of VI International conference on «Gas in marine sediments»*. St.-Peterburg. 2000. P. 104.
10. Шахова Н.Е. Семилетов И.П., Бельчева Н.А. Растворенный метан в шельфовых водах Арктических морей // *Доклады Академии Наук*. 2005. Т. 402. № 4. С. 529–533.

11. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Рос. Хим. Журнал. 2003. Т. XLVII. № 3. С. 70–79.
12. Etiope G., Klusman R. W. Geologic emissions of methane to the atmosphere // Chemosphere. 2002. V. 49. P. 777–789.

© В.В. Малахова, 2008

УДК 551.511.42.001

Т.В. Ярославцева, В.Ф. Рипута

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

МОДЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ПРИМЕСЕЙ ОТ ПЛОЩАДНОГО ИСТОЧНИКА

T.V. Jaroslavtseva, V.F. Raputa

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian

Branch of the Russian Academy of Sciences

prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

ESTIMATION MODEL OF AIR POLLUTION TRANSPORT FROM AREA SOURCE

The model of estimation of local dust contamination from area sources was suggested. The model approbation was conducted by field observation data on mass dust concentration around lake Selitryennoe (Altai region). The investigation carried out revealed rather simple regularities of one-time and long regional pollution from areal sources. The dependences obtained show that, in spite of the complex spatial and temporal structure of the considered sources, dusting processes can be described quantitatively within the framework of stationary modes.

Введение. В традиционных задачах переноса и диффузии аэрозольных примесей в атмосфере режим функционирования источников предполагается заданным [1, 2]. Ситуация существенно меняется в случае, когда источником примеси является подстилающая поверхность. Тогда ветровой подхват примеси и её дальнейший перенос будет в значительной степени зависеть от состояния этой поверхности (влажности, гранулометрического состава, прочности сорбции примеси на подстилающей поверхности и т. д.). Решение задачи ветровой миграции в общей постановке представляет значительные затруднения. Определённый прогресс имеется в описании процессов переноса песка при пыльных бурях [3, 4], однако остаётся открытым вопрос об определении количества поднятой пыли. На практике эта неопределённость обычно решается эмпирически, путём введения коэффициента ветрового подхвата, характеризующего отношение концентрации примеси в воздухе к поверхностной концентрации на почве.

В работе [5] предложена модель долгопериодного переноса примеси в атмосфере вследствие ветрового подхвата. Методом сингулярных возмущений оценены пределы применимости модели. В [6] с использованием данных натурных наблюдений показано существование достаточно простых закономерностей распределения массовой концентрации аэрозольной примеси в окрестностях хвостохранилищ.

1. *Экспериментальные исследования.* В качестве объекта исследования выбрано Селитренное озеро расположенное в западной части Алтайского края и представляющее собой открытое хранилище кристаллического сульфата натрия площадью около 6 км². При определённых метеорологических условиях и технологических процессах возможен вынос значительной части сульфатных частиц размером 0,05–10 мкм в пограничный слой атмосферы, что даёт заметный вклад в региональный аэрозольный фон.

Положение озера и схема пробоотбора представлены на рис. 1. Отбор аэрозольных проб производился на высоте 2 метра над поверхностью земли при юго-западном ветре. Средняя скорость ветра при отборе проб в 1997 году составляла 6–8 м/с. При экспедиционных исследованиях в 2004 году скорость ветра была несколько ниже и колебалась в пределах от 4 м/с до 6 м/с. Результаты экспедиционных исследований показали, что генерация сульфатного аэрозоля с поверхности озера происходит с помощью двух механизмов: сальтации и возникновения спиральных вихрей. Для определения фона точка 1 располагалась с наветренной стороны относительно озера. Наблюдения в остальных точках проводились с подветренной стороны по маршруту, практически совпадающему с направлением ветра.

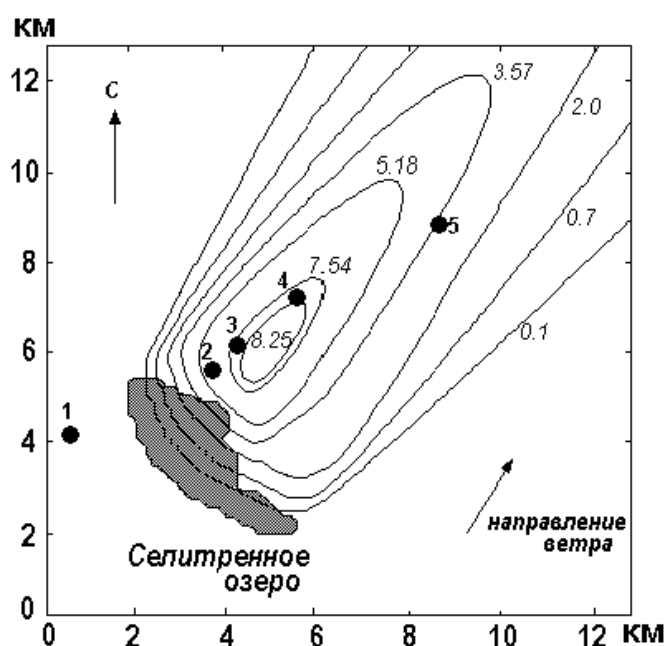


Рис. 1. Схема отбора проб воздуха. Восстановленное поле счётной концентрации фракции 0.3-0.4 мкм сульфатного аэрозоля в окрестностях Селитренного озера, образованное при юго-западном направлении ветра

2. *Постановки обратных задач.* Анализ имеющихся экспериментальных данных о концентрации аэрозолей в воздухе, системе наблюдений, пространственно-временной структуре рассматриваемых источников, метеорологических условиях показывает, что интерпретацию протекающих процессов загрязнения атмосферы предпочтительно провести в рамках

постановок обратных задач переноса примеси [6]. При этом следует учитывать наличие маршрутных наблюдений, удобную поверхностную ориентацию источников пыли по отношению к господствующим для данной местности направлениям ветра.

а) *Приближение линейного источника.* Данная информация позволяет использовать для описания процессов переноса пыли от площадного источника суперпозицию полей концентрации от набора линейных источников, расположенных в поперечном к ветру направлении. Тогда концентрацию $q_\pi(r)$ на расстоянии r от площадного источника можно вычислить по формуле

$$q_\pi(r) = \int_0^L q_l(r + L - \eta) d\eta, \quad (1)$$

где r ориентировано по направлению ветра; L – эффективная ширина площадного источника в направлении ветра; $q_l(x)$ – концентрация от линейного источника.

Концентрацию примеси в воздухе от линейного источника опишем с помощью полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии [2]

$$u(z) \frac{\partial q_l}{\partial x} - w \frac{\partial q_l}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} m(z) \frac{\partial q_l}{\partial z}, \quad (2)$$

где z – вертикальная координата, w – скорость оседания аэрозольных частиц, H – эффективная высота источника, $u(z)$ – скорость ветра, $m(z)$ – коэффициент вертикального турбулентного обмена.

В приближении оседающей примеси аналитическое решение $q_l(x)$ имеет следующий вид [2]:

$$q_l(x) = \frac{M}{k_1(1+n)x^\omega} \exp\left(-\frac{r_m}{x}\right), \quad (3)$$

где $r_m = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1}$; $\omega = 1 + \frac{w}{k_1(1+n)}$, u_1 и k_1 – значения скорости ветра и коэффициента вертикального турбулентного обмена на высоте $z = z_1$.

Подставляя выражение (3) в (1) и используя теорему о среднем из интегрального исчисления, получаем

$$q_\pi(r) = \frac{M \cdot L \cdot \exp\left(\frac{-r_m}{r + L - \lambda}\right)}{k_1(1+n)(r + L - \lambda)^\omega}, \quad (4)$$

где $\lambda \in [0, L]$.

Проводя в (4) процедуру агрегирования параметров, приходим к выражению

$$q_\pi(r, \vec{\beta}) = \frac{\beta_1}{(r + \beta_2)^{\beta_3}} \exp\left(\frac{-\beta_4}{r + \beta_2}\right). \quad (5)$$

Здесь $\vec{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)$, $\beta_1 = \frac{M \cdot L}{k_1(1+n)}$, $\beta_2 = L - \lambda$, $\beta_3 = \omega$, $\beta_4 = r_m$.

В общем случае оценивание вектора параметров $\vec{\beta}$ можно провести по методу наименьших квадратов с использованием данных наблюдений концентраций.

Отметим, что на больших расстояниях от площадного источника, из анализа (5) вытекает соотношение

$$q_{\pi}(r, \beta_1) = \frac{\beta_1}{r}. \quad (6)$$

б) *Аппроксимация точечными источниками.* Предположим, что площадь рассматриваемого источника аппроксимируется покрытием из N одинаковых квадратиков, соответствующим действию совокупности точечных источников одинаковой мощности. Пусть ось x совпадает с направлением ветра, ось y расположена в поперечном направлении. Тогда в силу принципа суперпозиции концентрацию аэрозольной примеси, создаваемую площадным источником, можно вычислить по формуле [2]:

$$\Psi(x, y) = M \cdot \sum_{i=1}^N \frac{\exp\left(\frac{-(y-y_i)^2}{2\varphi^2(x-x_i)^2}\right)}{\sqrt{2\pi} \varphi (x-x_i)} q_i, \quad (7)$$

где $q_i = q(x-x_i)$ – приземная концентрация аэрозоля, создаваемая линейным источником, расположенным на линии $x=x_i$, M – эмиссия примеси с единицы площади, φ – дисперсия направления ветра за время наблюдений.

В случае слабооседающей примеси ($w \approx 0$) соответствующее аналитическое представление (7) примет вид [2]

$$\Psi(x, y, \vec{\theta}) = \theta_1 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{\exp\left(-\frac{\theta_2}{x-x_i} - \frac{\theta_3(y-y_i)^2}{(x-x_i)^2}\right)}{(x-x_i)^2} \equiv \theta_1 \cdot Q(x, y, \theta_2, \theta_3), \quad (8)$$

$$\text{где } \theta_1 = \frac{M}{(1+n)k_1\varphi\sqrt{2\pi}}, \quad \theta_2 = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1}, \quad \theta_3 = \frac{1}{2\varphi^2}.$$

Оценки вектора параметров $\vec{\theta}$ можно получить с помощью метода наименьших квадратов, используя не менее трёх точек наблюдения.

3. *Численное моделирование.* Проведём численный анализ данных наблюдений массовой концентрации с использованием модели (6). На рис. 2 приведены результаты восстановления приземной концентрации пыли в направлении маршрута пробоотбора. В качестве опорной точки взята точка № 2. Сопоставление расчётов с наблюдениями в контрольных точках № 3–5 показывает достаточно высокий уровень соответствия. Весьма показательным моментом является возможность использования зависимости (6) для интерпретации данных наблюдений, проведённых как 1997 году, так и 2004 году. Это указывает на определённую универсальность использованного описания.

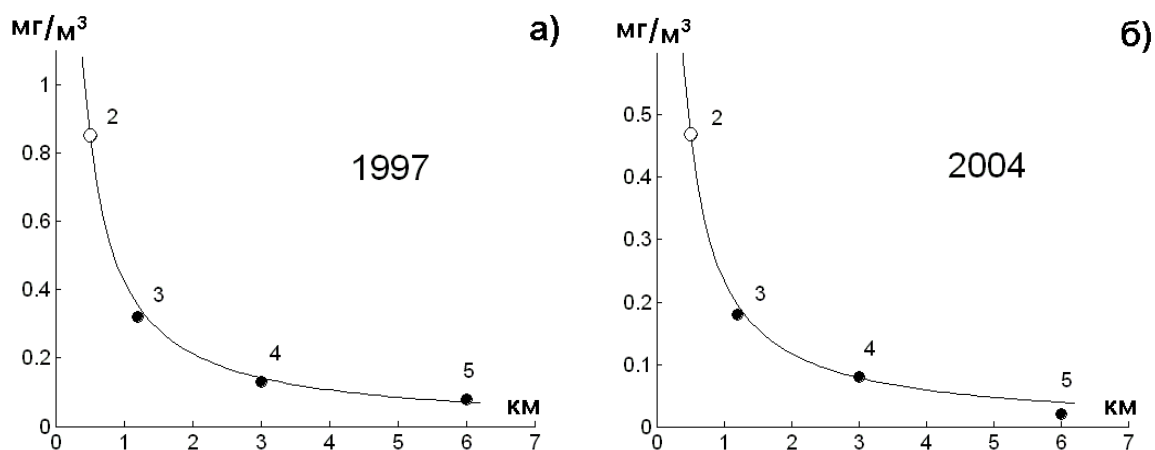


Рис. 2. Измеренные и рассчитанные значения массовой концентрации сульфатного аэрозоля. На горизонтальной оси указано расстояние от озера по маршруту наблюдений. — — — — — расчётная кривая, ○ — измерения в опорной точке, ● — измерения в контрольных точках

С использованием предложенной модели (8) по ограниченному числу точек наблюдений было проведено численное восстановление полей счётных концентраций различных фракций аэрозольных примесей в окрестности озера. Выбор опорных точек осуществлялся с использованием методов теории оптимального эксперимента. Для данного размещения системы точек пробоотбора относительно источника достаточно ограничиться характерным значением величины θ_3 для дневных условий [1, 2]. Результаты моделирования и сравнения с данными наблюдений изображены на рис. 1, 3. Анализ рис. 3а, 3б показывает, что соответствие рассчитанных и измеренных значений концентраций в контрольных точках вполне удовлетворительное.

Проведённый теоретический анализ процессов распространения примеси и численное исследование данных натурных наблюдений позволили выявить существование достаточно простых и устойчивых закономерностей аэрозольного загрязнения приземного слоя воздуха площадным источником. Для близких состояний пыления поверхности озера и режима турбулентного обмена в приземном слое атмосферы, полученные оценки параметров дают возможность проводить численное описание процессов распространения аэрозоля в окрестностях озера при произвольном направлении ветра.

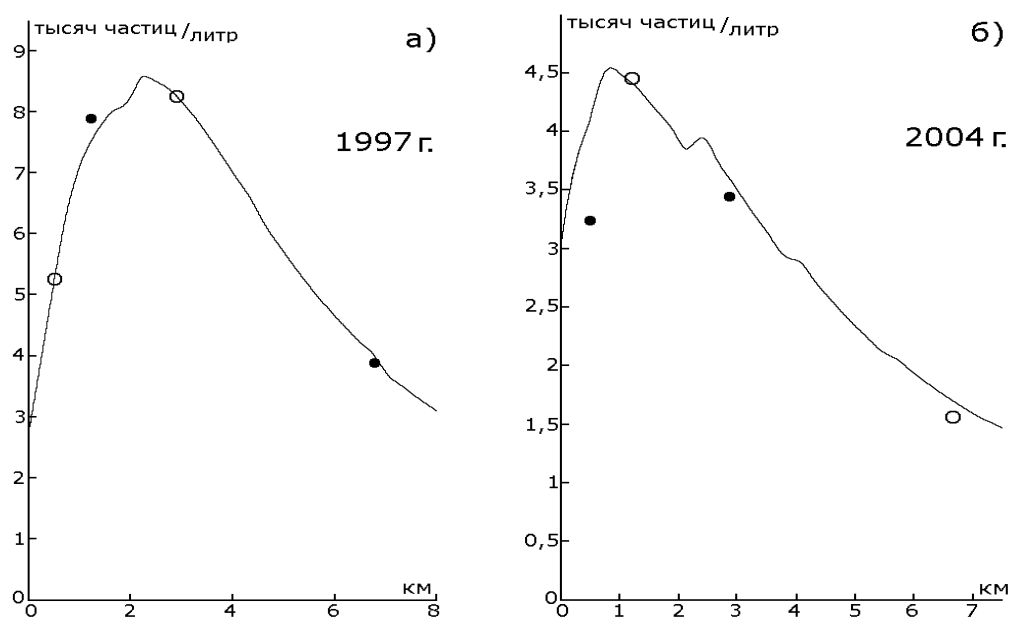


Рис. 3. Измеренные и рассчитанные значения счётной концентрации аэрозоля для фракции 0.3-0.4 мкм

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, проект 16.11; РФФИ, грант 08-08-00632.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бызова, Н.Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси / Н.Л. Бызова, Е.К. Гаргер, В.Н. Иванов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 279 с.
2. Берлянд, М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
3. Баренблатт, Г.И. Локальная структура развитых пыльных бурь / Г.И. Баренблатт, Г.С. Голицын. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 44 с.
4. Бютнер, Э.К. Динамика приповерхностного слоя воздуха / Э.К. Бютнер. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 159 с.
5. Возженников, О.И. О переносе примеси в атмосфере при ветровом подхвате с подстилающей поверхности / О.И. Возженников, А.В. Нестеров // Метеорология и гидрология. – 1988. – № 11. – С. 63–70.
6. Рапута, В.Ф. Закономерности пылевого загрязнения окрестностей хвостохранилищ / В.Ф. Рапута, А.А. Айриянц, С.Б. Бортникова, И.А. Суторихин // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15, № 8. – С. 740–743.

© Т.В. Ярославцева, В.Ф. Рапута, 2008

УДК 551.51+519.6

М.С. Юдин

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИКРОКЛИМАТА МЕСТНОСТИ С НЕГЛАДКОЙ ОРОГРАФИЕЙ

M.S. Yudin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

MATHEMATICAL SIMULATION OF LOCAL CLIMATE FOR UNSMOOTH OROGRAPHY

A small-scale meteorological model is applied to simulating local climate and aerosol propagation in conditions of unsmooth orography. Aerosol propagation is calculated with meteorological fields produced by the model. A semi-Lagrangian method and a simple random walk model are discussed. As an example, aerosol distribution above a steep hill is simulated with temperature field calculated by the first method and aerosol cloud produced by the second one. Reasonable agreement between existing theories and calculation results for aerosol sedimentation is obtained.

Введение

Существует большое число практических и теоретических задач, касающихся переноса атмосферных аэрозолей над областью со сложной нерегулярной структурой. К таким задачам относятся, например, проблемы распространения примесей в условиях городских застроек, вопросы моделирования микроклимата, и т. д. Существующая сеть измерений обычно очень редка, и полученные таким образом данные не всегда представительны для местности со сложной структурой.

В этой связи полезным инструментом для получения недостающей информации являются математические модели атмосферных процессов [1]. Полученные по этим моделям метеорологические поля служат фоном для расчета адвекции и диффузии аэрозольных частиц.

В отличие от многих обычных методов расчета распределений метеорологических элементов в пространстве и времени, в настоящей работе обсуждаются два метода, в которых внимание уделяется поведению отдельных частиц аэрозолей. Одним из существующих подходов для расчета крупномасштабной адвекции является так называемый полу-лагранжев метод [2], [3]. Этот метод позволяет минимизировать вычислительные ошибки, и в этом смысле обладает преимуществом перед традиционным эйлеровым подходом. В разделе 2 приводится вариант этого метода для случая

интерполяционных схем высокого порядка аппроксимации. В дальнейшем этот метод используется при расчете температурного поля в математической модели динамики атмосферы, кратко описанной в разделе 4.

Другим популярным методом расчета движения частиц является метод случайных блужданий, или лагранжевой диффузии [4]. Модели случайных блужданий частиц свободны от проблем вычислительных ошибок и устойчивости алгоритмов и обладают также рядом технических преимуществ. В разделе 3 приводится схема простой модели лагранжевой диффузии, которая в разделе 5 используется для моделирования распространения пассивного аэрозоля над крутым холмом. Уравнения модели для метеорологического фона приведены в разделе 4.

1. Полу-лагранжева адвекция аэрозоля

Рассматриваемый здесь метод расчета адвекции при переносе аэрозольных частиц состоит из двух этапов:

1. Определение точек вылета частиц, т.е. таких точек, откуда доставляется информация о распределении аэрозоля на следующий шаг по времени,
2. Интерполяция из ближайших узлов пространственной сетки на точки вылета частиц.

$$x_D = x - \int v dt, \quad (1)$$

$$f(x, t + \Delta t) = f(x_D, t). \quad (2)$$

Здесь Δt – шаг по времени. Порядок интерполяции определяет точность метода. В настоящей работе будет использована схема третьего порядка по причинам, которые обсуждаются ниже. Эта схема строится следующим образом. Произвольная функция f в узле разностной сетки раскладывается в ряд с точностью до членов четвертого порядка. Свободные коэффициенты этого разложения определяются через значения функции в узлах сетки. Обозначим $\lambda = (x_D - x_i) / \Delta x$. Здесь Δx – шаг по пространству. Решив полученную систему линейных уравнений, окончательно получаем:

$$\begin{aligned} f(t + \Delta t) = & f_i (1 - \lambda/2 - \lambda^2/2 + \lambda^3/2) + \\ & + f_{i+1} (\lambda + \lambda^2/2 - \lambda^3/2) + \\ & + f_{i+2} (-\lambda/6 - \lambda^2/6 + \lambda^3/6) + \\ & + f_{i-1} (-\lambda/3 + \lambda^2/2 - \lambda^3/6) \quad . \end{aligned} \quad (3)$$

Эксперименты со схемами различного порядка позволили сделать следующие выводы:

1. Схемы первого порядка имеют большую численную диффузию.
2. Схемы второго порядка являются немонотонными, обладают мелкомасштабной волнообразной структурой.
3. В рассматриваемых схемах третьего порядка оба этих типа ошибок существенно подавляются.
4. Схемы более высокого порядка приводят к незначительному улучшению качества решения, при существенном росте вычислительной работы.

2. Модель случайных блужданий

Простая модель лагранжевой диффузии [4], была выбрана для проведения расчетов по переносу и диффузии аэрозолей. Эта модель привлекательна своей математической простотой и гибкостью.

В момент времени $t + \Delta t$ индивидуальные частицы аэрозоля имеют координаты:

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + U_i(t) \Delta t, i = 1, 2. \quad (4)$$

$$X_3(t + \Delta t) = x_3(t) (U_3(t) - V_{sed}) \Delta t. \quad (5)$$

Здесь x_i – координата i -той частицы, U_i – полная скорость частицы, Δt – временной шаг, V_{sed} – скорость седиментации.

Скорость частицы U_i разбивается на две части: среднюю скорость u_i , которая получается из расчета метеорологической модели (см. следующий раздел) и турбулентную компоненту u'_i . Эта компонента рассчитывается следующим образом:

$$u'_i(t + \Delta t) = R_{L_i}(\Delta t) u'_i(t) + (1 - R_{L_i}(\Delta t))^2 \sigma_{u_i} \Psi, \quad (6)$$

$$R_{L_i}(\Delta t) = \exp(-\Delta t / T_{L_i}),$$

здесь Ψ – генератор случайных чисел для Гауссова распределения

$$\sigma_u = (2m_1 E)^{1/2},$$

$$\sigma_v = (2m_2 E)^{1/2}, \quad (7)$$

$$\sigma_w = (2m_3 E)^{1/2}.$$

Для трех видов стратификации

$$\frac{\partial \Theta}{\partial z} \leq -0.5 K / 100 m, \left| \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right| < 0.5 K / 100 m \quad (8)$$

мы используем следующие наборы коэффициентов:

$$m_1 = 0.4, 0.54, 0.54;$$

$$m_2 = 0.30, 0.30, 0.37;$$

$$m_3 = 0.30, 0.16, 0.09.$$

$$T_{L_i} = K / \sigma_{u_i}^2. \quad (9)$$

В отличие от [4], мы не имеем специального уравнения для расчета кинетической энергии турбулентности. Кинетическая энергия турбулентности E получается из соотношения:

$$K = l \sqrt{cE}. \quad (10)$$

Коэффициент диффузии K рассчитывается моделью термодинамики атмосферы.

Здесь c – эмпирическая константа, $c = 0.2$ [4].

3. Модель атмосферного фона

Для расчета метеорологических полей мы используем следующие уравнения атмосферной динамики:

$$\frac{dU}{dt} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial(G^{13}P)}{\partial \eta} = f_1(V - V_g) - f_2 W + R_u, \quad (11)$$

$$\frac{dV}{dt} + \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial(G^{23}P)}{\partial \eta} = -f_1(U - U_g) + R_v, \quad (12)$$

$$\frac{dW}{dt} + \frac{1}{G^{1/2}} \frac{\partial P}{\partial \eta} + \frac{gP}{C_s^2} = f_2 U + g \frac{G^{1/2} \bar{\rho} \theta'}{\theta} + R_\omega, \quad (13)$$

$$\frac{ds}{dt} = R_s, \quad \frac{d\theta}{dt} = R_\theta, \quad (14)$$

$$\frac{1}{C_s^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(G^{13} U + G^{23} V + \frac{1}{G^{1/2}} W \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{G^{1/2} \bar{\rho} \theta'}{\theta} \right) \quad (15)$$

$$U = \bar{\rho} G^{1/2} u, V = \bar{\rho} G^{1/2} v, P = \bar{\rho} G^{1/2} p', \quad (16)$$

где p' , θ' – это отклонения от основного состояния давления $\bar{p}$ и потенциальной температуры $\bar{\theta}$, s – удельная влажность, C_s – скорость звуковой волны, u_g , v_g – компоненты геострофического ветра, представляющие синоптическую часть давления, f_1 , f_2 – параметры Кориолиса, g – гравитационная постоянная.

Для произвольной функции φ

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} + \frac{du\varphi}{dx} + \frac{dv\varphi}{dy} + \frac{d\varphi}{dz}. \quad (17)$$

Члены R_u , R_v , R_ω , R_θ , R_s описывают процессы подсеточного масштаба. Коэффициенты турбулентного обмена вычисляются по следующим формулам:

$$l^2 [(D^2)(1-R_i)/2]^{1/2} \text{ при } R_i < 1,$$

$$K_m = 0 \text{ при } R_i \geq 1.$$

Путь смешения в каждой точке сетки берется как ближайшее расстояние от препятствий по всем направлениям. Локальное число Ричардсона R_i используется в виде:

$$R_i = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta / \partial z}{D^{2/2}}, \quad (18)$$

$$D = \nabla u + u \nabla. \quad (19)$$

Более подробное изложение этой модели можно найти, например, в [5], [6].

4. *Распространение аэрозоля над холмом*

В этом разделе мы приведем результаты расчета по переносу аэрозоля над крутым холмом. В данном случае мы используем полу-лагранжев метод для расчета температурного поля в модели динамики атмосферы из раздела 4. Перенос аэрозоля осуществляется методом случайных блужданий из раздела 3.

Холм высотой 500 м расположен в центре области 10 км x 10 км. Высота области 5 км. Геострофический поток распространяется с запада, $u_g = 5$ м/сек, $v_g = 0$. В качестве основного состояния берется стандартная атмосферная стратификация: $d\theta/dz = 3.5$ К/км.

Абсорбирующий слой расположен на высоте 1 500 м. Расчетная сетка состоит из 31 x 31 x 16 точек, с горизонтальным размером сетки $\Delta x = \Delta y = 333$ м, вертикальный размер сетки является переменным и растет с высотой. Размер холма увеличивается постепенно в течение первых 15 минут вычислений. Источник аэрозоля из примерно 5 000 частиц находится к востоку от холма, скорость оседания частиц бралась равной 2 см/сек.

Рис. 1 показывает концентрацию аэрозоля на поверхности через 20 минут физического времени (вид сверху). Аэрозольный поток заметно смещен в

северо-восточном направлении, несмотря на то, что исходные параметры задачи обладают симметрией относительно восточно-западного направления. Такая картина распространения находится в согласии с существующими теоретическими представлениями, поскольку в данной ситуации метеорологические поля смещаются за счет сил Кориолиса [7].

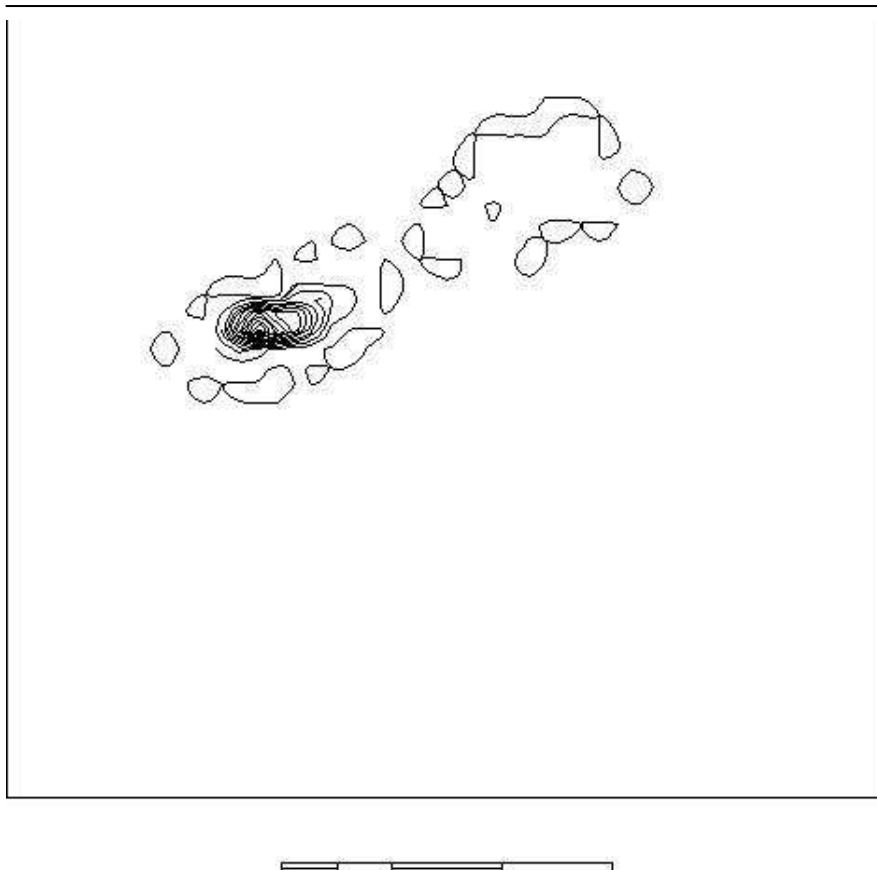


Рис. 1. Концентрация аэрозоля на поверхности

Результаты тестовых расчетов позволяют сделать вывод, что сочетание полу-лагранжева метода с методом лагранжевой диффузии, может быть использовано для численного моделирования распространения аэрозолей над сложной местностью.

Работа выполняется по Программе фундаментальных исследований СО РАН и поддержана Программами фундаментальных исследований №16 Президиума РАН и №3 Отделения математических наук РАН, проектом РФФИ 07-05-00673 и контрактом Европейской Комиссии № 013427.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пененко В.В. Модели и методы для задач охраны окружающей среды / В.В. Пененко, А.Е. Алоян / Н.: Наука, 1985. – 256 с.
2. Ritchie T. // Mon. Wea. Rev. V. 116. P. 766–791.
3. Крупчатников В.Н., Фоменко А.А. // Препринт ИВМ и МГ, 1997. – 20 с.

4. Gross G., Vogel H., and Wippermann F. // Atmos. Environ. V. 21. 1987. P. 483–490.
5. Yudin M.S. // Bull. Nov. Comp. Center, Num. Model. In Atmosph. 1995. V. 2. P. 101–107.
6. Юдин М.С., Вильдероттер К. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 10. С. 11–14.
7. Госсард Э.Э. Волны в атмосфере / Э.Э. Госсард, У.Х. Хук / М.: Мир. 1978. – 532 с.

© М.С. Юдин, 2008

УДК 551.510

О.А. Дубровская, В.М. Мальбахов

ИВТ СО РАН, Новосибирск

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ СТРУКТУРЫ ОБЛАЧНОСТИ

O.A. Dubrovskaya, V.M. Malbakhov

Institute of Computational Technologies of the SB RAS

prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

THE USE OF REMOTE SENSING TO INVESTIGATE INTERRELATIONS OF CLOUDINESS STRUCTURE

The article is devoted to the development of a method to reconstruct the parameters of convective boundary layer in an atmosphere covered with convective clouds. The main purpose is a study of possibilities for the creation of an informational-analytical system to identify clouds and cloud clusters. This is done to analyze weather conditions in the lower and middle troposphere.

Визуальные наблюдения, спутниковые и самолетные фотографии показывают, что поля облачности, как правило, имеют квазиупорядоченную структуру. Иногда кучевые облака объединяются в неправильные шестиугольники, именуемые облачными сотами. Более часто конвективные облака выстраиваются в шеренги длиной несколько километров, образуя облачные валы и облачные дорожки. В циклонах облака формируют спиральные структуры, протяженностью в сотни километров. Движения воздуха направлены вдоль этих спиралей, а скорость ветра пропорциональна их кривизне.

Соты, валы и дорожки возникают не только в атмосферах Земли и других планет, но и при конвекции в движущейся вязкой жидкости, расположенной в полости между двумя плоскими горизонтальными пластинами с разной температурой. Их средний размер составляет несколько сантиметров. Это детально исследованная конвекция Релея – Бенара [1]. Одинаковая форма конвективных структур обусловлена схожим механизмом их возникновения, а различные масштабы связаны с турбулентным характером движений в атмосфере и ламинарным – в вязкой среде. В работах [2–4] экспериментальные и теоретические результаты, полученные для конвекции Релея – Бенара, использованы при объяснении особенностей структуры атмосферного конвективного пограничного слоя. Наличие сдвига в вертикальном профиле

скорости ветра нарушает Колмогоровский каскад спектра конвективных пульсаций. При исследовании конвекции в потоке со сдвигом ветра, показано, что часть энергии среднего потока и часть энергии спектра конвективных пульсаций перекачиваются в двумерную турбулентность, характеризующуюся обратным каскадом энергии в сторону длинных волн [3, 4]. Именно этот механизм приводит к образованию облачных сот, валов и дорожек. На рис. 1 представлена схема энергетического каскада для конвекции в потоке с вертикальным сдвигом скорости фонового ветра, предложенная в [4].

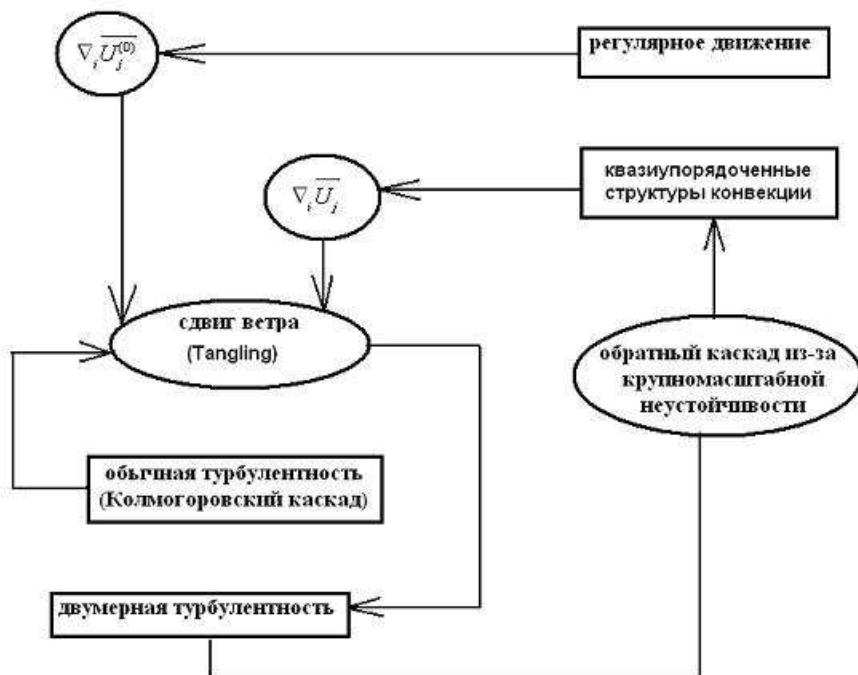


Рис. 1. Схема энергетического каскада для конвекции в потоке с вертикальным сдвигом скорости фонового ветра

Статья посвящена разработке методики восстановления параметров конвективного пограничного слоя в атмосфере покрытой кучевыми облаками. Для этих целей спутниковые снимки облачности, сравниваются с теоретическими результатами, полученными в [5]. Качественная оценка поля ветра, соответствующего реальным условиям, осуществляется по дымовым шлейфам лесных пожаров, видимых на фотографиях. Величины потоков тепла и влаги оцениваются по интенсивности облачной конвекции. Основная цель исследований — изучение возможностей создания информационно-аналитической системы идентификации облаков и облачных скоплений для анализа погодных условий в нижней и средней тропосфере. Подобный подход используется синоптиками при составлении краткосрочных прогнозов погоды и сверх краткосрочных прогнозов опасных гидрометеорологических явлений. Информация об облачности, полученная со спутников, служит своеобразной синоптической картой региона.

Упрощенная модель мезомасштабных ансамблей конвективных ячеек (термиков, конвективных облаков) и механизм образования упорядоченных структур полей облачности: были сделаны в [5].

Сравнения теории [5] с данными космических снимков приведены на рис. 2–4. В качестве источника данных дистанционного зондирования использованы материалы спутниковых съемок низкого и среднего пространственного разрешения NOAA/AVRR/TOVS и Terra/MODIS на территорию Восточной Сибири, республик Саха (Якутия) и Тыва. Реальным облакам на всех снимках соответствуют белые пятна на более темном фоне, изображающем подстилающую поверхность. О скорости и направлении ветра можно судить по дымовым шлейфам от лесных пожаров, видимым на всех фотографиях. Чем шире и короче шлейф, тем слабее ветер. Размеры и высоту облаков можно оценить по изображениям их теней (рис. 2). Результаты расчетов по модели [5] помещены на врезках. Крестиками обозначены конвективные ячейки. Слабому ветру и слабой конвекции соответствует ансамбль с ячейками, расположенными в шахматном порядке. При сильной турбулизации атмосферы, ячейки расположены хаотически (рис. 2). Это так называемые облака хорошей погоды (Cum hum, Cum med), наблюдаемые летом в утренние часы, когда нет сильного ветра.

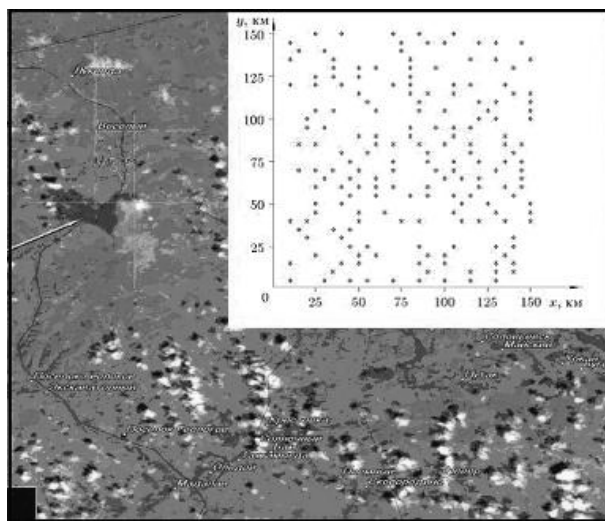


Рис. 2. Сравнение теории с наблюдениями. Облака хорошей погоды

По мере нагрева подстилающей поверхности интенсивность конвекции нарастает, увеличивается количество и размеры облаков. Иногда в середине дня или в его второй половине облака образуют упорядоченные структуры, имеющие форму сот (рис. 3).

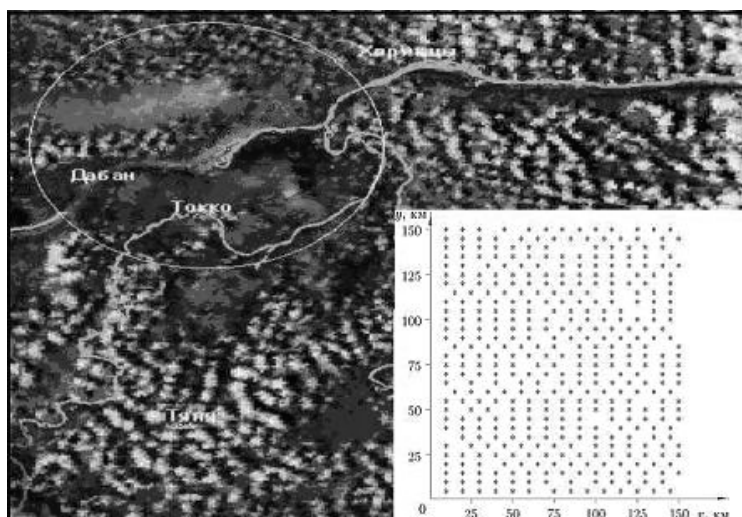


Рис. 3. Сравнение теории с наблюдениями. Облачные соты

Заметим, что сотовая структура облачности более типична для циклональных условий, в которых часто наблюдается термический ветер

Если облачный ансамбль начинает формироваться в условиях ветреной погоды, типичной для циклональных условий, то облака группируются в направлении вектора скорости. Этому случаю соответствует рис. 4.

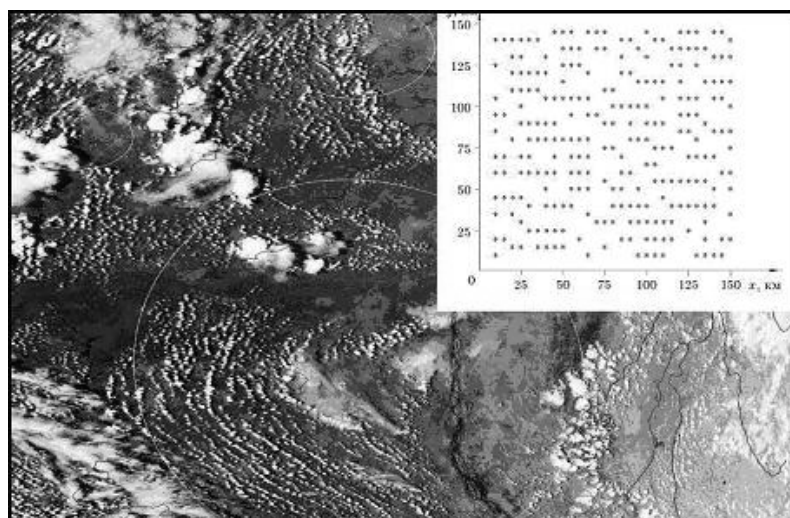


Рис. 4. Сравнение теории с наблюдениями. Облачные дорожки

О большой скорости ветра можно судить по узкому и длинному дымовому шлейфу от лесных пожаров. На снимках облачности, соответствующей циклональной циркуляции, часто видны два типа облачных кластеров. В средней тропосфере четко прослеживаются крупные облачные спиралевидные структуры, позволяющие оценить скорость и направление ветра в этом слое. Под ними, в Экмановском слое, часто видны облачные дорожки, позволяющие судить о скорости и направлении ветра, потоках тепла и влаги на нижних уровнях. Такая ситуация изображена на рис. 4. В левом нижнем углу видна незначительная часть крупной облачной спиралевидной

структуры. Под ней четко прослеживается несколько облачных дорожек. Ориентация дорожек и этой структуры не везде совпадают, особенно в левой части рисунка. Это признак того, что направление ветра на разных высотах может быть различным, и это различие можно оценить при анализе спутниковых фотографий. На верхней части рисунка эллипсом обозначена область, внутри которой прослеживаются облачные соты. Их наличие указывает на термический ветер в этой области. Анализ дымовых шлейфов от лесных пожаров, показывает, что в центре области ветер меняет с юго-западного на южное направление. Этот сектор очерчен большим эллипсом. Те же изменения происходят с ориентацией облачных дорожек.

Таким образом, в плоскопараллельном потоке со сдвигом и вращением ветра с высотой возможно возникновение мезомасштабных квазиупорядоченных облачных кластеров. Другой тип облачных структур, больших масштабов, связан с особенностями атмосферных циклонов.

При сравнении результатов расчетов с реальными данными в случае циклонической циркуляции была использована программа приема изображений облачности с космических аппаратов NOAA в формате Analog Picture Transmission (APT) с последующей тематической обработкой. Этот программный продукт позволяет восстанавливать фактические и прогностические значения некоторых метеорологических величин по яркостным характеристикам облачного покрова. К этим параметрам относятся температура и высота верхней границы облачности, скорость и направление ветра на разных изобарических высотах, количество осадков, а также вид облачности и возможные метеорологические явления, связанные с этой облачностью. Метод восстановления поля ветра применяется для облачных кластеров, имеющих вихревую структуру.

Изображения формата АРТ позволяют по характеру рисунка изображения и яркости облачных элементов изучать структуру облачного покрова для классификации типа облачности.

Таким образом, согласно теории [5] и наблюдениям облачные кластеры подразделяются на мезомасштабные и циклонические. Облака хорошей погоды, облачные дорожки и облачные соты относятся к мезо-масштабным структурам. Наличие на снимках Cum hum, Cum med и Cum cong, указывает на внутримассовый характер конвекции при слабом ветре.

Облачные дорожки на снимках показывают, что в Экмановском пограничном слое присутствуют сильный ветер и значительные запасы тепла и влаги. Облачные дорожки являются основным элементом циклонической циркуляции.

Выявленные закономерности послужат основой при разработке информационно-аналитического программного комплекса, предназначенного для использования космической информации в задаче диагноза метеорологических параметров в нижней и средней тропосфере. Для этих целей необходима более детальная проработка вопроса о связи ориентации облачных сот с силой и направлением термического ветра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости / М.: Наука, 1972, 392 с.
2. Вельтищев Н.Ф., Геохланян Т.Х. Ячейковая конвекция: лабораторные измерения и наблюдения в атмосфере / Тр. Гидрометцентра СССР. 1974. Вып. 132. С. 71–87.
3. Elperin T., Kleeorin N., Rogachevskii I., and Zilitinkevich S. Formation of large-scale semi-organized structures in turbulent convection / Phys. Rev. 2002. E 66, 066305 (1–15).
4. Elperin T., Kleeorin N., Rogachevskii I., and Zilitinkevich S. Tangling turbulence and semy – organised structure in convective boundary layers. / Boundary-Layer Meteorology (2006) 119, P. 449–472.
5. Мальбахов В.М. Упрощенная модель квазиупорядоченных ансамблей конвективных ячеек / Метеорология и гидрология, 1997, № 11, С. 33–40.

© О.А. Дубровская, В.М. Мальбахов, 2008

УДК 551.511.32: 532.517.4

Л.И. Курбацкая

ИВМиМГ, Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КЛИМАТА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

L.I. Kurbatskaya

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

MATHEMATICAL MODEL FOR MONITORING OF URBANIZED AREAS CLIMATE

The scheme of parameterization of the roughness of the urbanized surface is implemented for a simple two-dimensional test is presented. An improved three-parameter model of turbulence for the ABL over an urbanized surface with modeling of the effect of an urban heat island is used. The completely explicit anisotropic models are derived for the turbulent momentum fluxes (Reynolds stresses) and turbulent flux of the scalar via symbol algebra. The model provides additional possibilities for studying the effects of an inhomogeneous underlying surface (thermal and mechanical) on the pattern of a stratified atmospheric flow as compared to one- and two-parameter techniques of modeling the turbulence ($k-\varepsilon$ technology, for example).

Comparison of the computed results with the available observational data and other numerical models shows that the proposed model is able to reproduce both the most important structural features of the turbulence in an urban canopy layer near the urbanized ABL surface and the effect of urban roughness on a global structure of the fields of wind and temperature over a city. The results of the computational test for the new model indicate that the motion of air in the urban canopy layer is strongly influenced by mechanical factors (buildings) and thermal stratification.

One of the interests in study of the urban boundary is linked with pollutant dispersion. According to that, it is interesting to study the impact of the city (and of the modifications introduced) on pollutant dispersion. The passive tracer is emitted in the city at ground level with a time variation typical of traffic emissions characterized by high values in a morning and low values during night hours in order to reproduce realistic profiles.

Урбанизированные зоны относятся к числу используемых площадей, которые нуждаются в тщательном прогнозе их функционирования, поскольку они более всего уязвимы к большим потерям в работоспособности и жизни людей, вследствие опасностей в окружающей среде.

Прогнозирование городской окружающей среды должно включать:

- Климат города (температуру, влажность и т. д.);
- Качество воздуха водных ресурсов (уровни загрязнения);
- Опасные явления (дымка, туман, лед, наводнения, молнии).

Все это – ключевые составляющие улучшения использования окружающей среды для обеспечения продолжительности и качества жизни на Земле.

Необходимым инструментом для прогнозирования окружающей среды служит *предсказательное моделирование*, которое полагается главным образом на принципы механики жидкости и газа, определяющих перенос, перемешивание и трансформацию явлений в окружающей среде (воздухе и водных средах).

Настоящий доклад фокусируется на проблеме циркуляции воздуха над урбанизированными поверхностями, которая охватывает широкую область масштабов: от мезомасштабов (10 км ~ 1 000 км) до микромасштабов (1 м ~ 10 км). «Городские» масштабы (1 м – 10 км) покрывают черту города и его пригороды, окрестности (10 м – 1 км), масштабы городских каньонов/ дорог (~10 м).

Процессы механики жидкости и газа, протекающие на этих масштабах сложны, и они оказываются даже более сложными в присутствии неоднородных границ (например, суша и вода), химических, биологических, геологических и физических трансформаций и процессов различных линейных и временных масштабов. Несмотря на все это, политика в вопросах окружающей среды должна основываться на научном понимании таких процессов, особенно на их интегральных эффектах в пределах всех масштабов.

Примером является распределение загрязнений при городских выбросах в воздух. Локальное течение там определяется как результат взаимодействия между синоптическим и мезо-масштабным течениями и почвой. Загрязнения и их химические предвестники, выпущенные из различных источников, транспортируются течением, перемешиваются турбулентностью и подвергаются химическим (например, образование озона и вторичных аэрозолей) и физическим (коагуляция, фазовые переходы, осаждение) преобразованиям. Эти примеси в воздухе распространяются течением, иногда генерируя нагретые пятна загрязнений (высоко локализованные области экстремально высоких концентраций загрязнений, в масштабах, типично < 10 км), которые могут быть (и бывают) связаны со значительным возрастанием проблем для здоровья.

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с климатом города, которые включают:

- Городской атмосферный пограничный слой (АПС): пространственно-временные масштабы явлений, город, как источник механических и термических неоднородностей.
- Городская гидромеханика: циркуляция воздуха над урбанизированной поверхностью, рассеяние примесей.

– Мезомасштабная модель АПС: модель турбулентности третьего уровня замыкания, моделирование структуры городского АПС, численные тесты.

Среда обитания людей и других форм жизни («биосфера») располагаются внутри атмосферного пограничного слоя, исследование которого является ключевым в городской гидромеханике. Основная причина сложности задач климата города (качества городского воздуха) лежит в различии пространственно-временных масштабах, в пределах которых протекают явления. Два важных масштаба представляют:

- Городской масштаб порядка десятков километров (размер среднего города), где происходит эмиссия первичных загрязнений воздуха,
- «Мезо» масштаб порядка сотен километров, где формируются и рассеиваются вторичные загрязнения.

В докладе излагается усовершенствованная, третьего уровня замыкания, модель термически стратифицированной турбулентности, с помощью которой выполнено моделирование структуры городского острова тепла в критический метеорологический период (слабый ветер, устойчиво стратифицированная атмосфера), представлены результаты численных экспериментов, в которых зафиксированы наблюдаемые особенности дисперсии трассера от урбанизированной поверхности в атмосферу. Для моделирования структуры АПС в пределах мезомасштаба (≈ 100 км) с урбанизированной поверхностью (городским масштабом ≈ 10 км) выполнен простой двумерный тест. Получены структурные особенности формирования полей ветра и потенциальной температуры, над городом, согласующиеся с данными наблюдений и вычислений.

Представлены результаты компьютерного моделирования дисперсии пассивного трассера над городом.

Влияние городской шероховатости явно не разрешается, но её эффект на поля ветра и температуры параметризуется. Параметризация встроена в улучшенную мезомасштабную модель и тестирована в двумерном случае для города на плоской поверхности. Вычисление переноса пассивного трассёра было добавлено в модель. В эйлеровой диффузионной модели турбулентные потоки концентрации вычисляются из полностью явных алгебраических выражений, которые получены путем упрощения уравнений переноса для турбулентных потоков в приближении слабо-равновесной турбулентности при использовании символьной алгебры. Численные результаты дисперсии загрязнения показывают, что механические (городская шероховатость) и термические (городской остров тепла) факторы оказывают существенное влияние на дисперсию загрязнений над урбанизированной поверхностью и город оказывает также воздействие на дневную концентрацию загрязнения вдали от него.

Вычисленная концентрация трассера в центре города для самого нижнего расчетного уровня в 48-часовом цикле моделирования эволюции городского АПС представлена на рис. 1. Как и ожидалось, в условиях устойчивого

(ночного) АПС, в ночные и утренние часы, концентрация оказывается выше, чем в дневные часы.

На рис. 2 показаны распределения концентрации на нижнем расчетном уровне вблизи урбанизированной поверхности (города). Можно видеть, что к 07 часам утра происходит накопление концентрации трассера (символы ■ на рис. 2) в пределах города. Кроме того, к 13 часам (второго дня моделирования) в распределении концентрации (кривая, отмеченная символами • на рис. 2) фиксируется пик, примерно, в 10 км от города вниз по ветру. Таким образом, отчетливо проявляется воздействие урбанизированной поверхности на дневную концентрацию загрязнения вниз по ветру, вдали от города. Поведение концентрации в окрестности подветренной стороны города на рис. 2 обусловлено характером термической циркуляции, перемещенной адвекцией вниз по ветру на подветренную сторону, что отражено на рис. 3 изотакми вертикальной скорости ветра вместе с векторным полем среднего ветра.

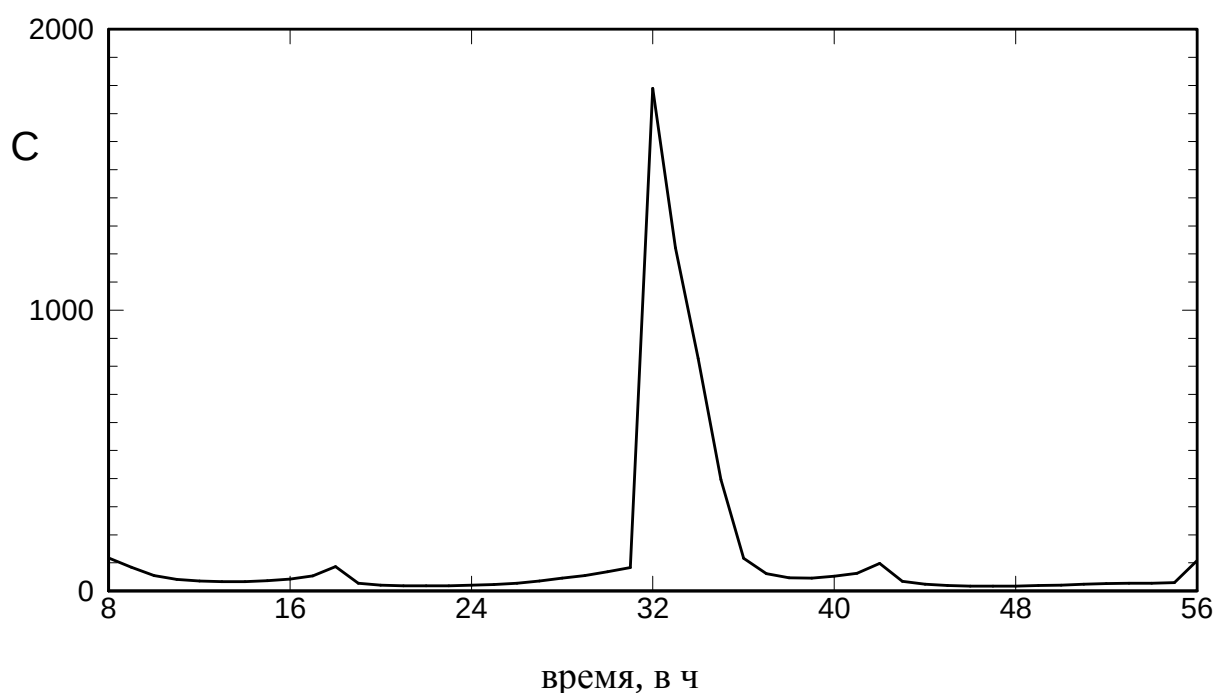


Рис. 1. Эволюция во времени поверхностной вычисленной концентрации пассивного трассера в центре урбанизированной поверхности (скорость геострофического ветра $U_g = 3$ м/с)

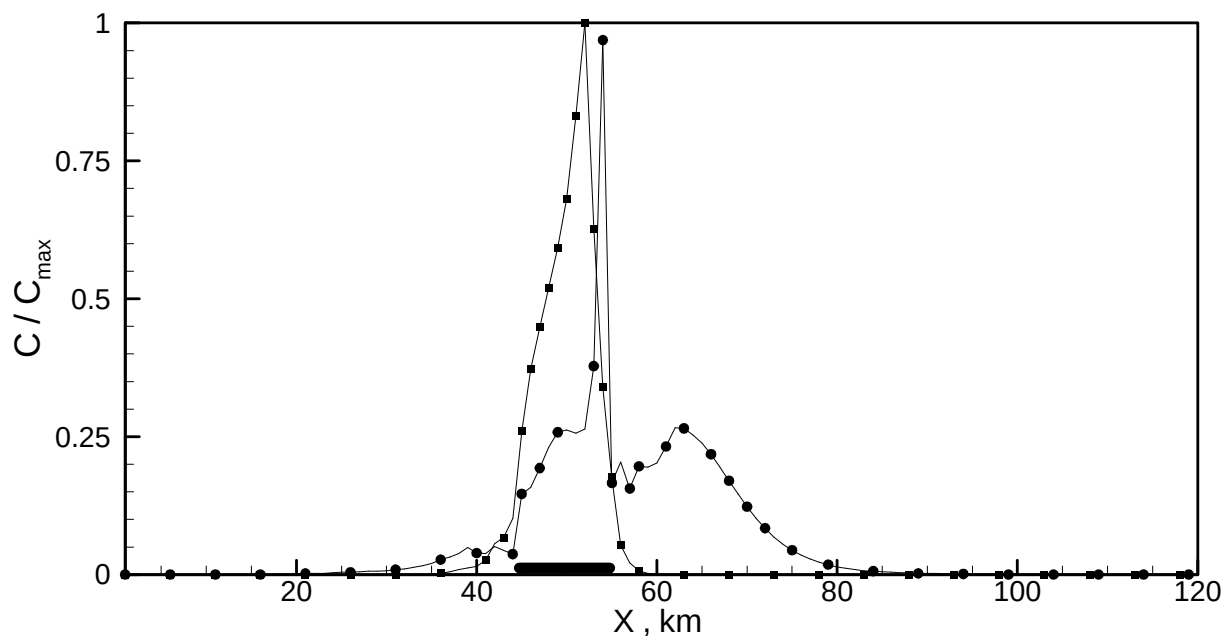


Рис. 2. Концентрация пассивного трассера C на самом нижнем расчетном уровне на 07 часов полных первых суток моделирования (■) и на 13 часов второго дня моделирования (●), как функция горизонтального расстояния

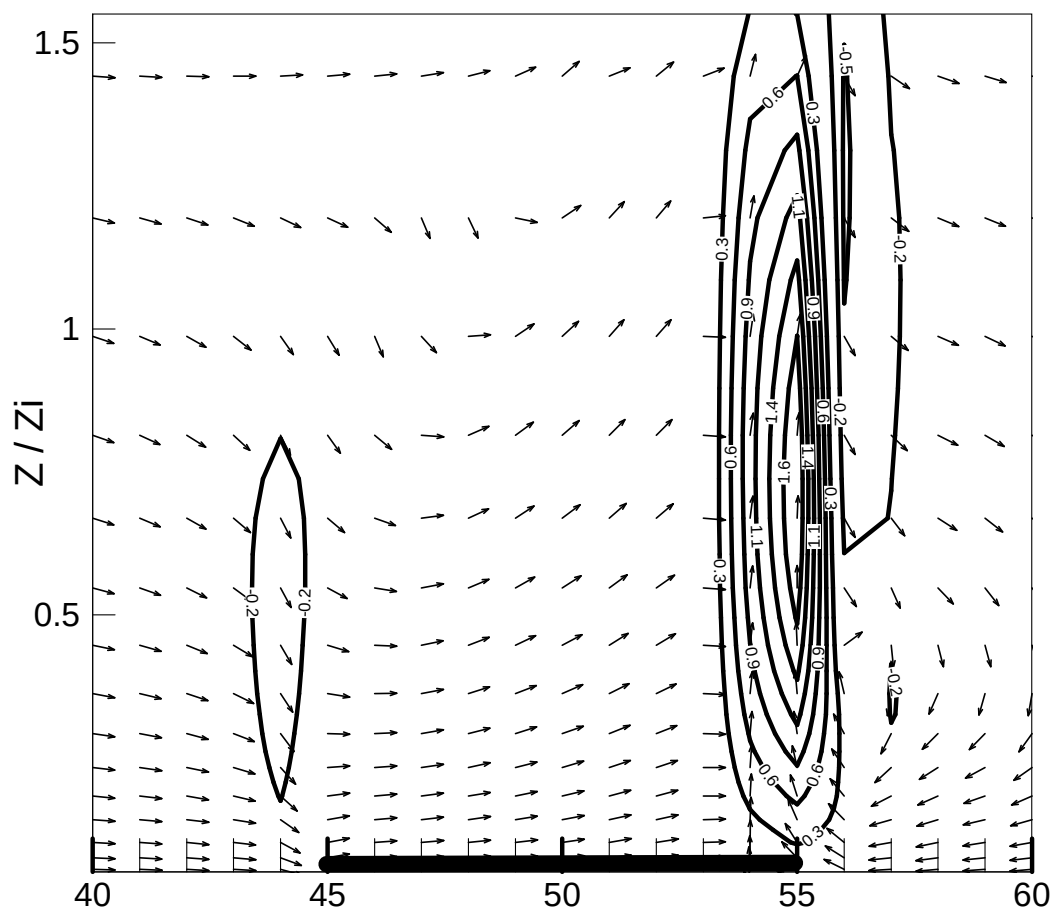


Рис. 3. Векторное поле скорости ветра и изотех и вертикальной скорости

Результат компьютерного моделирования на 12 часов дня. Черной насыщенной полоской на оси абсцисс показано расположение урбанизированной территории (протяженностью 10 км).

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований СО РАН и финансовой поддержке РФФИ (грант 07-05-00673).

© Л.И. Курбацкая, 2008

УДК 551.510

М.С. Штемберг

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ВЕРСИЯ МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА PUMA

M.S. Shtemberg

ICMMG SB RAS

6 prospect Akademika Lavrentjeva, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

THE PARALLEL VERSION OF MODEL OF THE GENERAL CIRCULATION OF THE ATMOSPHERE ON THE BASIS OF SOFTWARE PRODUCT PUMA

Accuracy of modeling of a climate depends on the sanction of climatic model. For research of dynamics of a climate, now the horizontal sanction of model of a climate makes 200 – 500 km and 20 – 30 levels on a vertical. For modeling and the forecast of a climate on 50 – 100 years the sanction in 10 – is necessary to increase 20 times. Even simple doubling of number of horizontal cells leads 4 - x to multiple increase in checkouts and to 10 multiple increase in operations.

This problem is solved by means of use of multiprocessing machines and application of parallel technologies. Work was conducted on model PUMA (Portable University Model of the Atmosphere).

The Portable University Model of the Atmosphere is a circulation model in FORTRAN-90 developed at the Meteorological Institute of the University of Hamburg. PUMA originated in a numerical prediction model that was altered to include only the most relevant processes in the atmosphere. It serves as a training tool for junior scientists, allowing them to work with a program that is easier to understand and modify.

Точность моделирования климата зависит от разрешения климатической модели. Для исследования динамики климата, в настоящее время горизонтальное разрешение модели климата составляет 200 – 500 км и 20 – 30 уровней по вертикали. Для моделирования и прогноза климата на 50 – 100 лет необходимо увеличить разрешение в 10 – 20 раз. Даже простое удвоение числа горизонтальных ячеек приводит к 4-кратному увеличению расчетных узлов и к 10-кратному увеличению операций. Эта проблема решается с помощью использования многопроцессорных машин и применения параллельных технологий.

Работа велась на модели PUMA (Portable University Model of the Atmosphere).

Портативная Университетская Модель Атмосферы – модель циркуляции, написанная на FORTRAN-90 в Метеорологическом Институте Университета

Гамбурга. PUMA – модель предсказания климата, которая была изменена, чтобы включить только самые уместные процессы в атмосферу. Это служит учебным инструментом для младших ученых, позволяя им работать с программой, которую легче понять и изменять.

Постановка проблемы: Точность моделирования климата зависит от разрешения климатической модели. Для исследования динамики климата, в настоящее время горизонтальное разрешение модели климата составляет 200–500 км и 20–30 уровней по вертикали. Для моделирования и прогноза климата на 50–100 лет необходимо увеличить разрешение в 10–20 раз. Даже простое удвоение числа горизонтальных ячеек приводит к 4-кратному увеличению расчетных узлов и к 10-кратному увеличению операций. Эта проблема решается с помощью использования многопроцессорных машин и применения параллельных технологий.

Краткое описание модели: Модель предназначена для использования студентами и начинающими специалистами с целью изучения особенностей общей циркуляции атмосферы, а также исследовательской работе ученых как инструмент моделирования динамики атмосферы. Разработанная модель обладает необходимым потенциалом для решения широкого круга научных и прикладных задач, связанных с исследованиями возможных изменений климата, разработкой методов долгосрочных прогнозов погоды, обеспечением потребителей информацией о состоянии атмосферы. Модель атмосферы построена на основе многоуровневой спектральной модели университета Рединг (Англия) с простым описанием физических процессов в атмосфере.

Код модели написан на языке FORTRAN – 90, что делает его легко переносимым с одной платформы на другую.

Модель состоит из:

- Динамического ядра;
- Физического пакета (механизм нагревания в атмосфере по закону Ньютона, Реелевское трение).

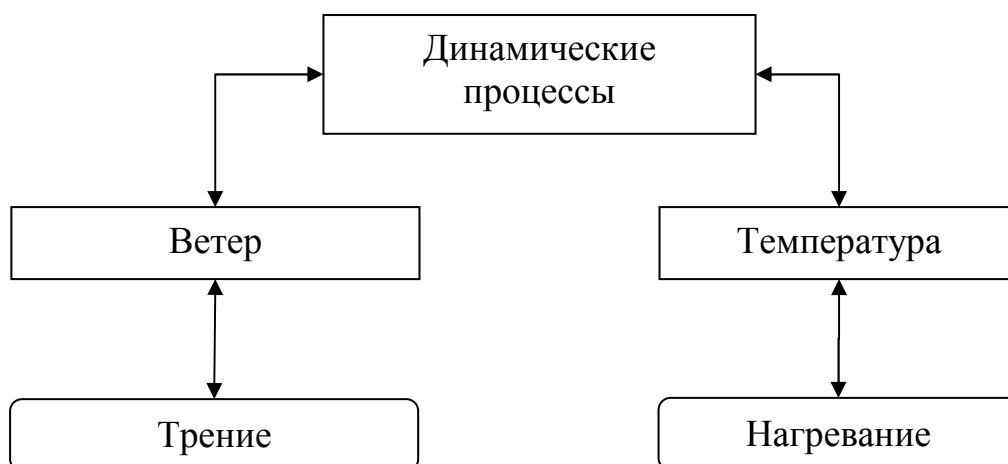


Рис. 1

Параллельная обработка. Если некое устройство выполняет одну операцию за единицу времени, то тысячу операций оно выполнит за тысячу единиц. Если предположить, что есть пять таких же независимых устройств, способных работать одновременно, то ту же тысячу операций система из пяти устройств может выполнить уже не за тысячу, а за двести единиц времени. Аналогично система из N устройств ту же работу выполнит за $1\,000/N$ единиц времени. Подобные аналогии можно найти и в жизни: если один солдат вскопает огород за 10 часов, то рота солдат из пятидесяти человек с такими же способностями, работая одновременно, справятся с той же работой за 12 минут – принцип параллельности в действии!

Для распараллеливания мы использовали библиотеку MPI. MPI – это стандарт на программный инструментарий для обеспечения связи между ветвями параллельного приложения. MPI расшифровывается как «Message passing interface» («Взаимодействие через передачу сообщений»). MPI предоставляет программисту единый механизм взаимодействия ветвей внутри параллельного приложения независимо от машинной архитектуры (однопроцессорные / многопроцессорные с общей / раздельной памятью), взаимного расположения ветвей (на одном процессоре / на разных) и API операционной системы (API = «applications programmers interface» = «интерфейс разработчика приложений»). Программа, использующая MPI, легче отлаживается (сужается простор для совершения стереотипных ошибок параллельного программирования) и быстрее переносится на другие платформы (в идеале, простой перекомпиляцией).

В процессе отладки и тестирования программы были использованы следующие средства:

- INTEL Fortran Compiler 9.0 for LINUX;
- Новосибирский кластерный суперкомпьютер НКС-160 на базе процессоров Intel Itanium II.

Тестирование и запуски программы:

Протестировав программу на 2, 4, 8 и 16 процессорах мы построили график зависимости времени выполнения программы от количества процессоров.

На следующем графике вы можете увидеть результат теста при самом маленьком разрешении, в котором число точек на широте, в которых проводятся расчеты, равно 48.

Как мы видим на рис. 2 эффективность распараллеливания видна только при четырех процессорах. При дальнейшем увеличении количество процессоров время выполнения программы практически не уменьшается по сравнению с предыдущим.

Следующим нашим шагом в процессе тестирования было увеличения разрешения до уровня мирового стандарта, в котором в котором число точек на широте равно 192.

Исходя из данных на рис. 3 можно сказать, что при увеличении разрешения модели эффективность программного выполнения возрастает сильнее при

большем количестве процессоров, тогда как на низком разрешении большое количество процессоров не приносит видимых улучшений.

Данные модели представляют собой трех- и четырехмерные массивы чисел. С таким форматом данных работает графический пакет GRADS, позволяющий произвести просмотр данных моделирования на земной сетке. Визуализация результатов моделирования климата с помощью данного графического пакета на примере приземного давления.



Рис. 2

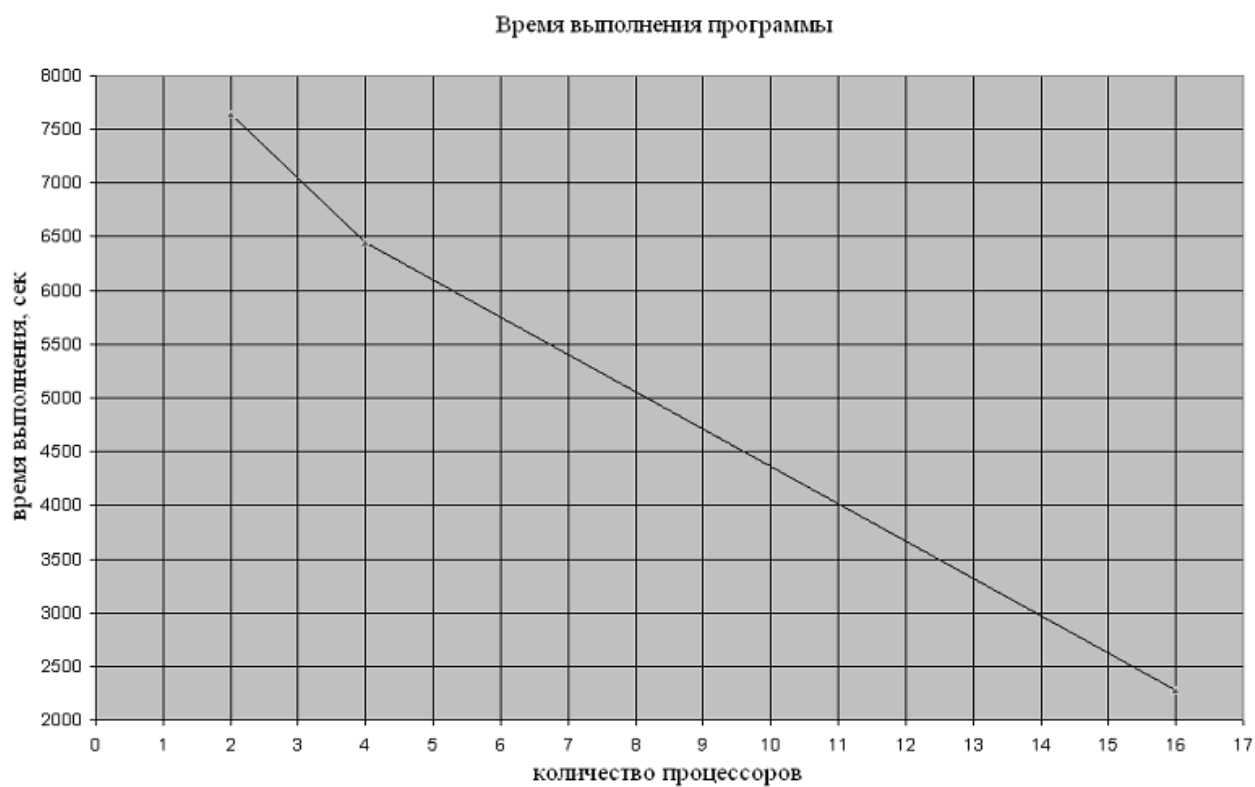


Рис. 3

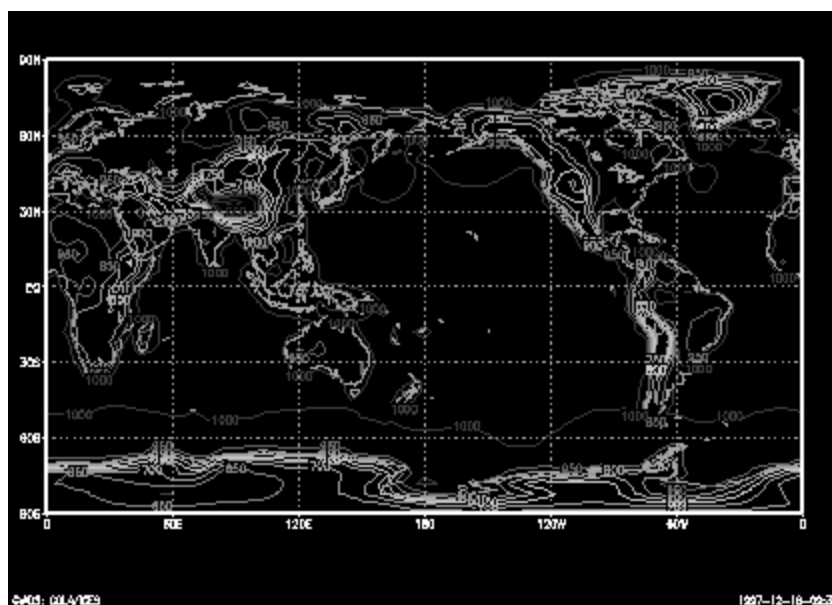


Рис. 4

Заключение

В результате проведенных испытаний конечного продукта можно следующие вывод:

– На минимальном разрешении модели почти все просчеты ведутся в непараллельной части кода программы и эффект увеличения скорости моделирования за счет удвоения числа расчетных процессоров быстро

пропадает. При увеличении разрешения модели во много раз увеличивается количество вычислений, приходящиеся на параллельную часть. Это дает возможность задействовать больше вычислительной техники, что существенно уменьшает время проведения эксперимента.

- Все данные модели легко обрабатываются и могут быть визуализированы в графическом пакете GRADS.

- Дальнейшими точками роста проекта являются улучшение интерфейса программы для упрощения обработки информации, добавление новых функций, распараллеливание физической части модели.

© *М.С. Штемберг*, 2008

УДК 519.652

П.А. Ким

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МАСШТАБИРУЕМОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА: КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ ПОДХОД

P.A. Kim

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics

Pr. Lavrenteva, the house 6, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

THE MATHEMATICAL SUBSTANTIATION OF SCALABLE MODEL OF THE RELIEF: THE CLASSIFICATION APPROACH

The positive solution of problems of existencies and uniqueness of a system of integral equations of scalable model of a relief, gives high-power means for construction of surfaces, representable in a class of the continuous functions having almost everywhere a sufficient degree of differentials.

Фундаментальный характер работ по разработке масштабируемой модели рельефа, проводимых в лаборатории Обработки изображений института Вычислительной математики и математической геофизики, подчеркивает тот факт, что в расширенной постановке, масштабируемая модель рельефа, представляет собой определенную переформулировку классической проблемы аппроксимации или интерполяции функции от двух переменных, задаваемую на множестве изолированных точек... Именно по этой причине весьма актуальны вопросы существования и единственности решений системы интегральных уравнений масштабируемой модели рельефа... Положительное решение этих проблем, предоставляет мощное средство для построения поверхностей, представимых в классе непрерывных функций, обладающих почти везде достаточной степенью гладкости... В настоящей статье описывается классификационный подход, позволяющий положительно решить проблемы существования и единственности решения системы интегральных уравнений для одномерного случая, то есть для функции от одной переменной...

В более ранних работах [1] – [4] достаточно детально рассмотрена, как постановка задачи, так и конструктивные элементы технологии, позволяющие приступить к решению основной задачи. В сжатом виде эта информация представлена на иллюстрации к статье. Здесь приведены интегральные уравнения масштабируемой модели рельефа, и проиллюстрированы основные характеристики, обеспечивающие стыкуемость разномасштабных заданий информации о поведении рельефа для граничных областей.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 07-07-00085-а.

Мера близости

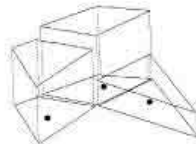
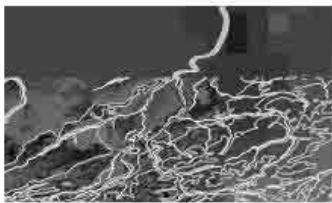
В разработанной модели, естественно, определяется понятие близости, одинаковости генерируемых функций рельефа. Так, например, если мы имеем рельефы R_1 и R_2 , то расстоянием между ними будем считать интеграл $\iint_G (R_1 - R_2)(x, y) dx dy$. Соответственно для одномерного случая, таким расстоянием будет интеграл $\int_G (R_1 - R_2)(x) dx$.

Для одномерного случая справедлива следующая теорема.

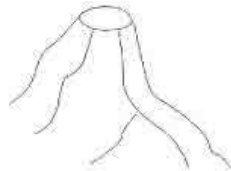
Для любого конечного разбиения области задания рельефа на отрезки, существует, и, при этом, единственно, решение интегрального уравнения масштабируемой модели местности.

Доказательство реализуется методом математической индукции по числу отрезков разбиения, при этом проводится классификация ограниченного числа возможных видов решений.

Фрагмент границ прилегания
разномасштабной информации



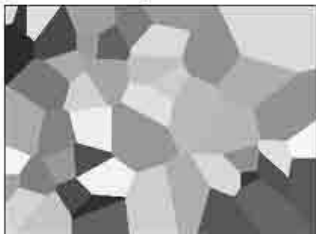
Ступенчатая
модель рельефа



Схематичное изображение
сглаженной поверхности

$$z = f(x, y)$$

Площадное разбиение плоскости
диаграммами Вороного G



$$\iint_G f(x, y) dx dy = \sum_i S_{G_i} \times h_{G_i}$$

$$S = \inf_{f(x, y)} \iint_G \sqrt{(f'_x)^2 + (f'_y)^2 + 1} dx dy$$

Рис. 1

На основании введенной меры близости возникает новая задача о компактном представлении рельефа, через минимальное покрытие, задающее рельеф, достаточно близким к исходному рельефу. Эта постановка имеет практическую направленность, поскольку в настоящее время широко распространены навигационные ГИС, реализуемые в незначительных по вычислительным ресурсам устройствах, и проблема эффективизации представления географической информации становится весьма актуальной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ким П.А. Полидуга как элемент конструирования профилей масштабируемой модели рельефа / П.А. Ким // Труды Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25–27 апреля 2007, Новосибирск, Россия, т. 3 «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология», С. 188–192.
2. Ким П.А. О геометрической форме решения интегрального уравнения масштабируемой модели рельефа / П.А. Ким // Сборник материалов международного научного конгресса «ГЕО-СИБИРЬ-2006». 24–28 апреля 2006 Россия, Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, 2006, Том 3 «Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия», часть 1, С. 212–217.
3. Ким П.А. Один подход к визуализации масштабируемой модели рельефа / П.А. Ким // Труды 16 Международной конференции по компьютерной графике и ее приложениям ГрафиКон"2006. 1-5 июля 2006 года, Россия, Новосибирск, Академгородок, ИВМиМГ СО РАН, 2006. С. 355–359.
4. Ким П.А. Сибирский виртуальный программно-аппаратный комплекс СВПАК-2003: ГИС-моделирование / П.А. Ким // Труды Всероссийской научно-методической конференции «Моделирование географических систем», Россия, Иркутск, 1-3 ноября 2004. С. 78–80.

© П.А.Ким, 2008

УДК 004.75:004.932

Е.В. Русин

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

E.V. Rusin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

HI-PERFORMANCE IMAGE PROCESSING TECHNOLOGY

A multi-component technology integrating multiprocessor computer into remote sensing data processing is discussed.

Введение

Все большее проникновение высокопроизводительных ЭВМ в процессы обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обостряет проблему «враждебности» суперЭВМ к рядовому пользователю. Как правило, многопроцессорная ЭВМ управляется операционной системой семейства UNIX и функционирует как вычислительный сервер, взаимодействуя с внешними клиентами через защищенное SSH-соединение. Консольные программы удаленного SSH-доступа (типа PuTTY или SSH Secure Shell) предоставляют пользователю лишь сервис командной строки, графические же X-терминалы обладают низким быстродействием. Это приводит к тому, что использование многопроцессорных ЭВМ оказывается доступным только для пользователей с опытом работы в UNIX и недоступным рядовому пользователю ОС семейства Windows, которыми оснащено подавляющее большинство ПК в нашей стране. И даже с учетом этого обработка данных на многопроцессорной ЭВМ выполняется в несколько приемов: загрузка данных с помощью SFTP-клиента (SFTP – защищенный протокол передачи файлов на основе SSH), запуск команды обработки на удаленной машине (с помощью SSH-терминала), загрузка на локальную машину результатов (с помощью того же SFTP-клиента).

Разрабатываемая в Лаборатории обработки изображений ИВМиМГ СО РАН технология интеграции высокопроизводительных ЭВМ в процесс обработки и интерпретации данных ДЗЗ призвана обеспечивать:

- Работу оператора в привычном Windows-окружении;
- Визуализацию данных;
- Формирование задания на обработку;
- Загрузку задания и исходных данных на многопроцессорную ЭВМ;
- Обсчет задания на многопроцессорной ЭВМ;
- Возврат результатов расчетов на клиентскую ЭВМ.

Реализующая технологию программная система состоит из трех компонент:

- Клиентская компонента: Windows-приложение – рабочее место оператора.
- Серверная компонента: UNIX-приложение, функционирующее на удаленной многопроцессорной ЭВМ, обрабатывающее запросы клиента.
- Вычислительная компонента, реализующая как базовые алгоритмы обработки, так и оригинальные алгоритмы, созданные в ИВМиМГ СО РАН.

Клиентская компонента

Реализующее клиентскую компоненту Windows-приложение разрабатывается в среде Microsoft Visual C++ .NET. Оно состоит из следующих подсистем:

- Подсистема управления, централизующая работу комплекса; создана на базе каркаса типового многодокументного приложения MFC.
- Подсистема визуализации, обеспечивающая просмотр исходных изображений и результатов обработки. Для Windows-визуализации изображений различных форматов используется библиотека SxImage, свободно доступная в исходных кодах и не требующая дополнительного лицензирования.
- Подсистема взаимодействия с удаленной машиной, обеспечивающая загрузку данных на удаленную машину и выполнение на ней команд. Так как взаимодействие с многопроцессорной ЭВМ осуществляется посредством защищенного SSH-соединения, необходимы программные средства, обеспечивающие выполнение простейших операций по протоколу SSH. Самостоятельная реализация протокола SSH сопряжена с высокими трудозатратами, в связи с чем возникла необходимость использования SSH API (набора подпрограмм, обеспечивающего SSH-взаимодействие), созданного третьими сторонами. Существенным моментом отбора SSH API стало требование возможности его свободного использования, что сузило число возможных вариантов до двух – набора подпрограмм, лежащего в основе известного SSH-клиента PuTTY, и библиотеки CryptLib. В результате выбор был сделан в пользу второго варианта, главным преимуществом которого стал уже готовый для использования API (получение такого интерфейса в случае PuTTY возможно только после серьезного разбора исходного кода данного приложения). Библиотека CryptLib не поддерживает напрямую SFTP, однако ограниченность требуемого набора операций с файловой системой удаленной машины позволяет реализовать их на базе CryptLib.
- Подсистема формирования запросов, предназначенная для преобразования пользовательских запросов на обработку в команды для подсистемы взаимодействия с удаленной машиной. Фактически, это единственная подсистема комплекса, требующая перенастройки при использовании различных многопроцессорных ЭВМ. Здесь определяются специфичные для данной многопроцессорной ЭВМ команды работы с

очередями задач, также команды, обеспечивающие выполнения операций обработки изображений.

На текущий момент реализованы и отлажены подсистемы взаимодействия с удаленной машиной и визуализации. Подсистема формирования запросов реализована в усеченном варианте и будет наращиваться в дальнейшем.

Серверная компонента

Протокол SSH обеспечивает возможность выполнения команд операционной системы и запуск программ на стороне сервера. Таким образом, реализация серверной компоненты системы сводится к созданию программы для многопроцессорной ЭВМ, удаленно запускаемой клиентской компонентой через установленное SSH-соединение и выполняющей непосредственно обработку. Параметром такой программы является имя файла-задания.

Вычислительная компонента

Основой вычислительной компоненты является библиотека параллельной обработки изображений SSCC-PIPL [1]. При ее создании использовались следующие методологические принципы:

1. Максимальное сокрытие использования параллелизма от пользователей библиотеки. В идеале, интерфейс библиотеки должен быть спроектирован так, чтобы использующая ее параллельная программа выглядела как обычная «последовательная» программа. С этой целью была выбрана идеология SPMD (Single Program Multiple Data). Программа, использующая библиотеку, компилируется в исполняемый модуль, копии которого запускаются на каждом вычислительном узле многопроцессорной ЭВМ. При этом весь код, отвечающий за выполнение операций параллельной среды (инициализация / деинициализация среды, самоидентификация узла среди всех выполняющих узлов, межпроцессорные пересылки и синхронизация) находится в реализации библиотеки. Вместе с тем, мы посчитали, что полное сокрытие параллелизма от пользователя приведет к потенциальной неэффективности программных систем, основанных на композиции алгоритмов (для одного алгоритма наиболее эффективен один способ распараллеливания, для другого – второй, а для их композиции – третий, возможно совпадающий с первым или вторым). При этом пользователь, как правило, в состоянии указать некоторые общие соображения об эффективном распараллеливании алгоритма (например, если распараллеливаемый алгоритм – композиция трех фильтров с ядром 5 x 5 пикселей, то оптимальное распараллеливание достигается при разрезании изображения на полосы с перекрытием в шесть пикселей). Поэтому библиотека должна оставлять пользователю возможность указания способа распараллеливания «в общем».

2. Как известно, алгоритмы обработки изображений можно разбить на небольшое число крупных групп по особенностям их программной реализации: операции типа «пиксель-пиксель» (например, сложение двух изображений), «окрестность-пиксель» (операции свертки), «все изображение-константа» (вычисление суммы пикселей), и т.д. При этом в программном коде,

реализующем различные алгоритмы одной группы, присутствует существенная часть, повторяющаяся (с незначительными вариациями) от алгоритма к алгоритму. Далее, большая часть алгоритмов обработки изображений обладает естественным параллелизмом, а число способов распараллеливания вычислений оказывается крайне ограниченным. Для того чтобы избежать дублирования программного кода, реализующего параллельные алгоритмы, разрабатываемая библиотека должна иметь компактное ядро, обеспечивающее выполнение общих (для алгоритмов одной группы) операций. Это ядро состоит из небольшого числа обобщенных функций, реализующих общий для данной группы операций код. Конкретный алгоритм реализуется функцией, вызываемой обобщенной функцией и выполняющей, например, вычисление значения одного пикселя результата. Важным следствием такого решения является расширяемость библиотеки через добавление к ней пользовательских функций. Пользователю при этом не придется иметь дело с моделями параллелизма, а необходимо будет реализовать операцию в терминах обработки изображений.

3. Создаваемый программный код должен минимизировать накладные расходы, неизбежные при росте уровня абстракции модели вычислений (в частности, при переходе от полной реализации каждого алгоритма в терминах всего изображения с учетом его параллельного представления к обобщенным операциям, реализованным однократно в ядре библиотеки и параметризуемым пользовательским кодом – см. предыдущий пункт).

4. В качестве средств реализации необходимо использовать C++ и MPI. Это обеспечит возможность низкоуровневых оптимизаций кода, его переносимость, а также возможность обобщения операций с помощью механизмов наследования и шаблонов. Кроме того, среда выполнения MPI соответствует выбранной парадигме SPMD.

Интерфейс библиотеки SSCC-PIPL составляют следующие классы:

CRunTime – среда выполнения. Предоставляет вспомогательные операции (инициализация MPI, печать отладочных сообщений, измерение временных интервалов, и пр.).

CImage – класс, реализующий абстракцию изображения. Предоставляет операции чтения изображения из дискового файла, записи изображения в файл, а также выполнение преобразований изображения.

CNeighborhoodManipulator – манипулятор окрестностью пикселя изображения. Класс позволяет реализовывать алгоритмы обработки, абстрагируясь от конкретных параметров изображения (физических размеров, распределения по процессорам и пр.), в терминах окрестности обрабатываемого пикселя. Использование абстракции манипулятора окрестностью делает легким процесс создания совместимых с библиотекой пользовательских функций обработки.

Пользователь имеет возможность выбрать один из следующих способов представления изображения на наборе исполняющих процессоров для наиболее эффективного распараллеливания вычислительного алгоритма:

- Полная копия изображения на каждом из процессоров.
- Разрезание изображения на непересекающиеся горизонтальные полосы числом, равным количеству исполняющих процессоров; отдельный процессор получает для обработки «свою» полосу.
- Разрезание изображения на горизонтальные полосы с перекрытием соседних полос в заданное количество пикселей; отдельный процессор получает для обработки «свою» полосу – таким образом, данные на границе полос дублируются на двух процессорах. При этом объект *CImage* следит за актуальностью данных в областях перекрытий, и поддержка этой актуальности прозрачна для пользователя.

Библиотека SSCC-PIPL обеспечивает чтение-сохранение изображений в различных графических форматах за счет использования библиотеки *CxImage*.

Преобразования изображения реализованы в библиотеке SSCC-PIPL как обобщенные операции. Для применения к изображению конкретного преобразования соответствующую обобщенную операцию необходимо параметризовать конкретным алгоритмом. При этом возник выбор между двумя возможными в C++ механизмами параметризации:

- Наследование: аргумент обобщенной операции – ссылка на абстрактный базовый класс с чисто виртуальным методом *Process()*, выполняющим вычисление нового значения пикселя по текущим значениям пикселей изображения; конкретные алгоритмы наследуют базовому и определяют метод *Process()*.
- Шаблоны (*templates*): обобщенная операция есть шаблонная функция, параметризуемая классом конкретного алгоритма.

По соображениям производительности и универсальности SSCC-PIPL использует второй вариант – это позволило перенести накладные расходы, связанные с повышением уровня абстракции модели вычислений, на время компиляции программы пользователя, а не на время ее выполнения. Как результат сделанного выбора, библиотека должна распространяться в исходном коде, компиляция программы пользователя выполняется дольше, но ее быстроедействие значительно повышается.

Примеры кода, использующего библиотеку, можно найти на Web-сайте проекта [1]. В результате тестовых расчетов получены ответы на два главных вопроса, необходимые для обоснования правильности выбранных методов реализации библиотеки:

1. Не слишком ли большие накладные расходы связаны с повышением уровня абстракции модели вычислений? Реализация алгоритма поиска кольцевых структур на аэрокосмоснимках [2] с помощью библиотеки показала высокую эффективность ее программного кода (приигрыш в производительности по сравнению с реализацией, использующей непосредственный доступ к пикселям, составил не более 10 %). При этом значительно упростился процесс создания параллельной версии алгоритма.

2. Какова эффективность распараллеливания вычислений, обеспечиваемого библиотекой? Тестовые расчеты, выполненные на многопроцессорной ЭВМ МВС–1000/М Сибирского суперкомпьютерного центра, показали, что эффективность распараллеливания алгоритма медианной фильтрации с окнами осреднения от 3x3 до 21x21 пиксель на 8 процессорах составляет 95 %.

Заключение

Работа частично выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-07-00085a) и Фонда содействия отечественной науке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://loi.sccc.ru/lab/RFFI07/ru/SSCC-PIPL/main.htm>
2. Alekseev A.S, Pyatkin V.P., Salov G.I. Crater Detection in Aero-space Imagery Using Simple Nonparametric Statistical Tests // Lecture Notes in Computer Science. – Springer-Verlag, 1993. – Vol. 179. – P. 793-799.

© *Е.В. Русин, 2008*

УДК 528.852

В.С. Сидорова

ИВМиМГ, Новосибирск

МЕРЫ ДОСТОВЕРНОСТИ НЕКОНТРОЛИРУЕМОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

V.S. Sidorova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

ADEQUACY MEASURES OF THE REMOTE SENSING DATA UNCONTROLLED CLASSIFICATION

Some measures of cluster validity are analyzed and compared. The automatic choice of valid clustering forest on the image is shown.

Алгоритмы неконтролируемой классификации не обеспечивают хорошую изолированность полученных кластеров, и требуется дополнительный анализ результатов. После классификации остаются вопросы: какое распределение лучше, есть ли соответствие между полученными группами и реальными объектами. Это вопросы кластерной достоверности. Меры качества распределений векторов по классам для контролируемой классификации известны давно [1]. Для кластерных алгоритмов интерес к этим вопросам возрос в последние годы. Обзор методов может быть найден в [2]. В обзоре показано, что как выбор критериев классификации, так и выбор критериев качества полученных распределений зависит от природы данных и задачи исследования. Общее требование, которое предъявляется к качеству классификации в задачах кластерной достоверности: близость векторов к центрам кластеров, удаленность кластеров друг от друга. Индикаторные меры являются наиболее дешевыми в вычислительном отношении и могут быть применены к анализу больших объемов данных дистанционного зондирования. Большая часть этих мер связывает близость векторов к центрам кластеров с дисперсией, а удаленность с расстоянием между центрами кластеров. Эти же категории использовались для индикаторных мер качества классификации с обучением. Но есть существенная разница в оценке результатов этих подходов классификации, как и в их принципах. Для контролируемой классификации каждый класс представлен своим распределением векторов - гистограммой. Дисперсия класса связана с функцией плотности полного распределения, для которой значение гистограммы изменяется от максимума до нуля, и характеризует разброс значений векторов от среднего. Поиск лучшего качества классификации сводится к минимизации области перекрытия классов. Так как

существуют трудности вычисления многомерных интегралов для больших объемов данных, то используются индикаторные меры.

Неконтролируемая классификация обычно применяет жесткие кластерные алгоритмы, которые разделяют векторное пространство на непересекающиеся кластеры. Но теперь нет полной функции распределения для каждого кластера, как при контролируемой классификации. В этом случае некорректно связывать степень концентрации векторов у центра с дисперсией. Здесь дисперсия зависит не только от поведения функции плотности распределения, но и от размеров кластера. Увеличение расстояний между центрами означает для такой классификации увеличение размеров кластеров. Возможна неопределенность, если уменьшение дисперсии кластера вызвано уменьшением его размера. Маленькие кластеры с более пологой функцией плотности распределения могут оказаться лучше больших, т. е. не выполнится ни одно из двух требований к качеству классификации. Подобные эффекты будут тем больше, чем ближе классифицируемые объекты по значениям признаков. Для данных дистанционного зондирования это частое явление.

В обзоре также представлены кластерные алгоритмы и меры качества, основанные на измерении плотности точек в векторном пространстве и установлении границ между кластерами в областях низкой плотности. Предложенные алгоритмы являются параметрическими и требуют много компьютерного времени, так как многократно производятся вычисления расстояний в многомерном пространстве признаков. Альтернативным подходом к классификации и оценке качества являются гистограммные методы (в указанном обзоре не рассмотрены). Они вычисляют многомерную гистограмму признаков, которая содержит исчерпывающую информацию о функции распределения и для большого числа векторов рассматривается как аппроксимация плотности вероятности. Максимумы гистограммы соответствуют модальным векторам кластеров, а границы между кластерами проходят по долинам гистограммы, т. е. областям низкой плотности. Например, алгоритм [3] является быстрым, непараметрическим, не требует никакой априорной информации. Скорость достигается за счет того, что гистограмма и вектора хранятся в упорядоченном по возрастанию векторов списке, а поиск максимумов производятся по скалярным значениям гистограммы. Список содержит только присутствующие на изображении вектора, поэтому довольно большая размерность векторного пространства не является помехой для размещения его в оперативной памяти. Различные системы хеширования применяются при построении гистограммы. Другое дело, что локальных максимумов гистограммы получается очень много. Они могут соответствовать очень близким кластерам или оказаться мелкими случайными всплесками на поверхности гистограммы. Кластеры можно объединить. Здесь важно оценить качество распределений, чтобы выбрать лучшее. Можно менять детальность до классификации, объединяя предварительно вектора. Параметром объединения может быть число уровней квантования векторного пространства. Для выбора лучшего из распределений векторов по унимодальным кластерам предложена

мера качества $M(N)$, которая вычисляется как средняя мера по всем кластерам [4]. Мера для отдельного кластера:

$$M^i(N) = \frac{1}{B^i(N)} \frac{\sum_{j=1}^{B^i(N)} h_j^i(N)}{H^i(N)}, \quad (1)$$

где N – число уровней квантования, $h_j^i(N)$ – значение гистограммы в j -й точке границы кластера i , $B^i(N)$ – число точек границы кластера, $H^i(N)$ – максимальное значение гистограммы.

Всегда $M^i(N) \leq 1$ и $M(N) \leq 1$. Чем меньше мера (1), тем лучше кластер. Мера $M(N)$ также имеет минимальные значения для лучших распределений. Вычисление меры связано со скалярными значениями гистограммы. Границу каждого кластера легко вычислить по таблице соседей для всех векторов, которая уже была построена ранее для алгоритма классификации.

Достоинство меры (1) в том, что она непосредственно сопоставляет среднее число граничных точек кластера числу модальных. Рассмотрим поведение функции распределения (гистограммы) кластера i вдоль одного направления, определенного двумя точками: модальная – граничная j . Предположим, что ее одномерная функция плотности вдоль выбранного направления представляет собой кусок нормальной функции на отрезке $[0, R]$, где 0 соответствует модальному вектору, а R – расстояние до границы кластера j . Пусть $\gamma = h_j^i(N)/H^i(N)$. В одномерном случае нормальная функция плотности для класса i имеет вид:

$$p_i(x) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma_i} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(x - \mu_i)^2}{\sigma_i^2} \right], \quad (2)$$

где μ_i – среднее значение, σ_i^2 – дисперсия для класса i .

Найдем отношение γ для нормальной функции плотности вероятности:

$$\gamma = \frac{h_j^i(N)}{H^i(N)} = \exp \left(-\frac{R}{\sigma_i} \right), \quad (3)$$

(для данного отрезка $\sigma_i \geq 0$).

γ уменьшается с увеличением R – размером кластера в данном направлении и уменьшением σ_i , но σ_i здесь – неизвестная дисперсия полного распределения, а не измеренная на отрезке R , σ_i определяет скорость убывания функции плотности. Теперь нет неопределенности: качество кластера тем лучше, чем меньше измеренное по гистограмме значение γ , оно зависит от соотношения скорости убывания гистограммы и размера кластера, которые теперь изменяются независимо. Размер R соответствует степени удаленности от других кластеров, скорость убывания – степени концентрации векторов в центре. Требования к мере качества кластера выполняются.

Пусть $G(x)$ гистограмма, поведение которой на отрезке $[0, R]$ соответствует распределению с нормальной функцией плотности $p(x)$ (2). Можно вывести:

$$G(x) = H^i(N) * \gamma^{\frac{x}{R}} = H^i(N) * \left(\frac{h_j^i(N)}{H^i(N)} \right)^{\frac{x}{R}}. \quad (4)$$

Анализ (4) показывает, чем меньше γ , тем меньше доля граничных точек от объема кластера для функций с одинаковым размером R . Для кластеров с одинаковыми значениями γ доля граничных точек тем меньше, чем больше размер R . Доля граничных точек зависит также от формы функции плотности, которая может не соответствовать нормальной. По определению унимодального кластера, значение гистограммы на границах кластера всегда меньше, чем для модального вектора. Хотя по некоторым направлениям i возможны даже колебания функции и снижение ее вплоть до нуля. Но амплитуда колебаний обычно убывает. В противном случае для плохого кластера значение меры будет велико. Для задач распознавания особенно важно, как ведет себя кластер на границе, поэтому мы ограничились отношением числа точек границы к числу модальных. Чем меньше это отношение, тем вероятней, что большая часть векторов кластера сосредоточена возле модального вектора, а меньшая у границ. Учтем также, что мы вычисляем среднюю долю границ по всем направлениям, связанным со всеми граничными точками кластера, т. е. присутствует элемент сглаживания для каждого кластера.

Светло-серый оттенок относится к луговой пойме реки и болотам, все кластеры этих объектов на рис. 2 выделены одним оттенком. Контурами показаны таксационные выделы.



Рис. 1. Изображение лесного ландшафта

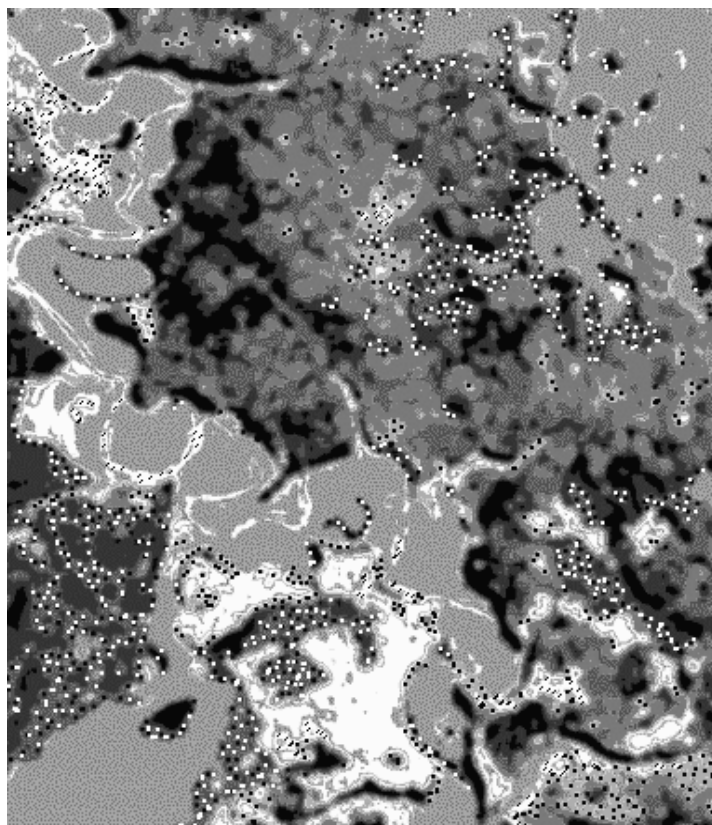


Рис. 2. Кластерная карта

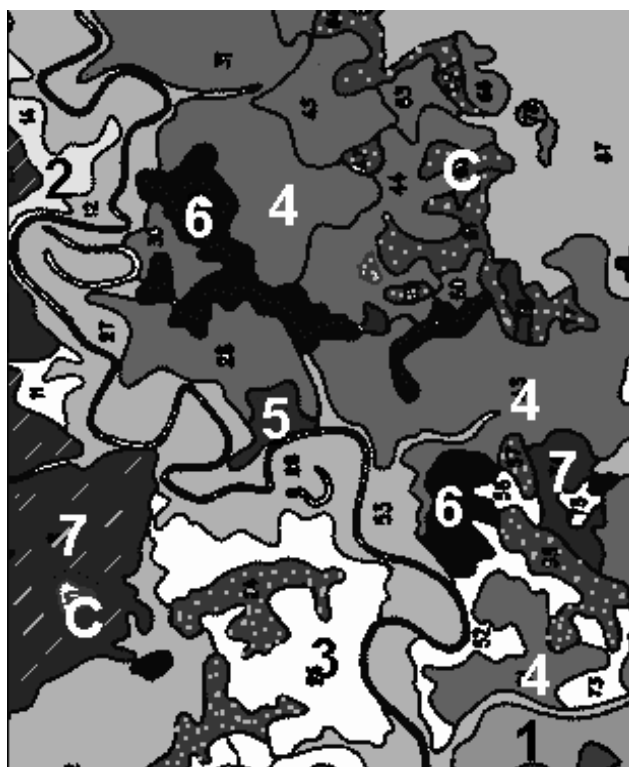


Рис. 3. Картограмма наземной таксации для выбранного участка. Большие цифры на карте – номера фаз кедровников, 7 С – чередование участков кедровников седьмой фазы и сосняков, С – сосняки

Мера качества всего распределения векторов по кластерам также является статистической.

Достоверность классификации означает соответствие кластеров формальной классификации информационным классам данных. Эксперименты показали, что хорошо разделенные унимодальные кластеры распределений соответствуют представительным информационным классам зондируемой поверхности Земли. В работе [4] рассматривалась классификация многоспектральных изображений, в [5] особенности классификации текстурных. Здесь также покажем классификацию леса по текстурным признакам. Особенностью изображения является то, что представлен ряд объектов, близких по признакам, поэтому уровень изолированности соседних кластеров не высок. На рис. 1 аэроснимок лесного ландшафта Западной Сибири масштаба 1 : 25 000. Размер электронной версии изображения 1300*1400, разрешение: 2.5 м/пиксель. На изображении присутствуют насаждения кедровников всех семи фаз развития. Лес данного типа представляет собой березово-кедровое сообщество. Возобновляясь на гарях, этот тип проходит определенный путь развития, на ранних стадиях преобладает береза, затем ее вытесняет кедр. При данном разрешении текстуру леса составляют чередующиеся светлые группы берез (осенняя съемка) и темные группы кедра. На изображении есть также сосновые насаждения, близкие по признакам кедровникам. На рис. 3 представлена карта участка, построенная лесоводами с помощью наземной таксации. Средний возраст леса для выделов одной фазы может быть различным. Классификация проводилась среднему тону TONE и признакам Харалика. Лучшие результаты получены для пары MEAN и TONE. Эти признаки позволили различить сосновые и все фазы кедровых насаждений. Лучшее распределение (в интервале от 60 до 90 уровней квантования) соответствует минимальному значению меры $M(78) = 0.45$ для 78 уровней квантования. Размер окна для сбора статистик был также автоматически получен 18*18 пикселей. Меньшая детальность квантования не обеспечивает различение сосновых насаждений. Дальнейшее повышение детальности ухудшает качество и увеличивает число кластеров. Лесу соответствует семнадцать кластеров, по два, три кластера каждой фазе кедровников и сосновым насаждениям. Кластерная карта показана на рис. 2. Все фазы кедровников и сосна автоматически выделены и соответствуют их расположению на карте рис. 3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дистанционное зондирование: количественный подход / М.: «НЕДРА», 1983.
2. Halkidi M. On clustering validation techniques / M. Halkidi, Y. Batistakis, M. Vazirgiannis / Journal of Intelligent Information Systems. 2001. № 17 (2-3). P. 107.
3. Narendra P.M. A non-parametric clustering scheme for LANDSAT. / P.M. Narendra, M. Goldberg / Pattern Recognition. 1977. 9. P. 207.

4. Сидорова В.С. Оценка качества классификации многоспектральных изображений гистограммным методом. / В.С. Сидорова / Автометрия №1, Новосибирск, 2007, с. 37-43.

5. Сидорова В.С. Неконтролируемая классификация текстурных изображений. / Сидорова В.С. / Труды международного конгресса “ГЕО-СИБИРЬ - 2007”, Новосибирск, 2007, С.178 – 183.

© В.С. Сидорова 2008

УДК 550.312

Г.П. Арнаутков, Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стусь, М.Г. Смирнов

ИАиЭ СО РАН

В.Ю. Тимофеев

ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

ПРЕЦИЗИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ, НАКЛОНОВ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СЕЙСМОСТАНЦИИ «ТАЛАЯ» В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ

G.P. Arnautov, E.N. Kalish, Yu.F. Stus, M.G. Smirnov

Institute of Automation and Electrometry SB RAS (SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES)

3 Ak. KoptuyugaPr., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

V.Yu. Timofeev

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES)

3 Ak. KoptuyugaPr., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

SENSITIVE MONITORING OF VARIATIONS GRAVITY, TILTS AND STRAINS OF EARTH SURFACE AT THE SEISMIC STATION «TALAJA» IN BAIKAL RIFT ZONE

The investigation carried out at the seismic station «Talaja» is unique at both the quantity of controllable geophysical parameters (it have been measuring variations of gravity, strains and tilts of earth surface) and observing time (about fifteen year). Also during analysis of measuring results data of geodynamic investigation obtained with help of global satellite position systems of GPS type are considered. Observational accuracy of equipment in this investigation ranks one of leading position in the world. Monitoring of geodynamic parameter variations was carried out by absolute gravimeters with error less than $2 \mu\text{Gal} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^2$, quartz tiltmeters, quartz and invar rod deformographs with 1,5–9 meters base and error less than $10^{-9} - 10^{-10}$.

The results of analysis of the influence of different factors which may be reason of the gravity fluctuation Δg (the most probable of them appears the fluctuation of height of observation point) are cited. Relation between Δg variations and the fluctuation of volume strain calculated from the results of deformographical measurements on the point «Talaja» is settled. Mean value of the volume strain was constant from 1991 to 1996 years (with error $\pm 1 \cdot 10^{-6}$). The volume strain increased by $2 \cdot 10^{-6}$ and remains up at present. Also the correlation of Δg variations with the tilt of earth surface on the observation point is settled. It is possible the relation between Δg variations and preparation and consequences of strong earthquakes in Baikal rift zone.

Исследования, проводимые на сейсмостанции «Талая», уникальны как по числу контролируемых геофизических параметров (измеряются вариации силы тяжести, деформаций и наклонов земной поверхности), так и по длительности наблюдений (около 15 лет). При анализе результатов измерений учитываются также данные геодинамических исследований, полученные с помощью глобальных спутниковых позиционных систем типа GPS. По точности измерений используемая в этих исследованиях аппаратура занимает одно из лидирующих положений в мире.

Гравиметры, разработанные авторами, основаны на баллистическом методе измерения ускорения свободного падения с использованием эталонов пути и времени. Высокая точность измерений (погрешность менее 2 микрогал = $2 \cdot 10^{-8}$ м/с²) подтверждена международными метрологическими сравнениями лучших в мире абсолютных гравиметров [1]. Для регистрации вариаций наклона земной поверхности использовались кварцевые наклонометры, поверка которых проводилась в Брюсселе и Люксембурге [2].

Деформации измерялись кварцевыми и инварными штанговыми деформографами с базами от 1,5 до 9 метров. Приборы были установлены в специальной камере штольни сейсмостанции «Талая», где постоянство температуры обеспечивалось естественным пассивным термостатированием. Тестирование штанговых приборов осуществлялось лазерными деформографами. Показано, что погрешность измерения деформаций не превышает уровень $10^{-9} \div 10^{-10}$.

Результаты измерений вариаций силы тяжести Δg на пункте «Талая» приведены на рис. 1.

Здесь же даны результаты контрольных измерений Δg на гравиметрическом пункте в г. Иркутске, относящемся к платформенной области. За нулевой отсчет вариаций Δg принят результат первого измерения на этих пунктах. Для исключения влияния приливных вариаций силы тяжести на результаты измерений вносились теоретически рассчитанные на каждый момент измерений приливные поправки (они рассчитывались по всемирно принятой программе ETERNA 3.0). Исключалось также влияние притяжения изменяющихся в зависимости от атмосферного давления воздушных масс P_a . В соответствии с рекомендациями Международной гравиметрической комиссии эта поправка равна $\Delta g_{Pa} = 0,30 \cdot 10^{-10} (P - P_n)$ (м/с²), где P_n – нормальное атмосферное давление на высоте H_M пункта измерения над уровнем моря $P_n = 101325 \cdot (1 - 0,0065 \cdot H_M/288,15)^{5,2559}$ Па.

По этим же рекомендациям в результат измерений вносилась поправка, учитывающая положение полюса Земли

$$\Delta g_N = 1,164 \cdot 10^{-8} \omega^2 a 2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi (X \cdot \cos \lambda - Y \sin \lambda), \quad (1)$$

где $\omega = 7292115 \cdot 10^{-11}$ (рад/с) – угловая скорость вращения Земли, $a = 6378136$ м – средний радиус Земли, φ и λ – широта и долгота пункта наблюдений, X и Y – координаты полюса Земли в момент измерений (берутся из справочных данных, регулярно публикуемых Международной службой слежения за вращением Земли). Эта поправка в различные годы наблюдений достигала 10 мкГал, и с точностью до 0,5 мкГал совпадала с результатами измерений Δg на пункте «Талая».

На рис. 1 приведены результаты первых лет наблюдений (1992–1995 гг.), когда значение Δg было преимущественно стабильно. Следует отметить, что в период первых 4 лет измерений вариации Δg не превышали погрешность измерений. Вариации Δg в последующие годы имели локальный характер, так как на контрольном пункте в платформенной области (г. Иркутск) измеренные вариации Δg не превышали погрешность измерений.

В результате анализа влияния различных факторов, которые могли обусловить такие изменения Δg , мы считаем наиболее вероятным влияние изменения высоты пункта наблюдений. Основанием для этого предположения является зависимость значения ускорения силы тяжести от высоты пункта наблюдений. Если принять, что вертикальный градиент силы тяжести равен $\gamma \approx 309$ мкГал/м, то при изменении высоты пункта наблюдения на величину $h = 1$ см, получим значение $\Delta g = \gamma h \approx 3$ мкГал.

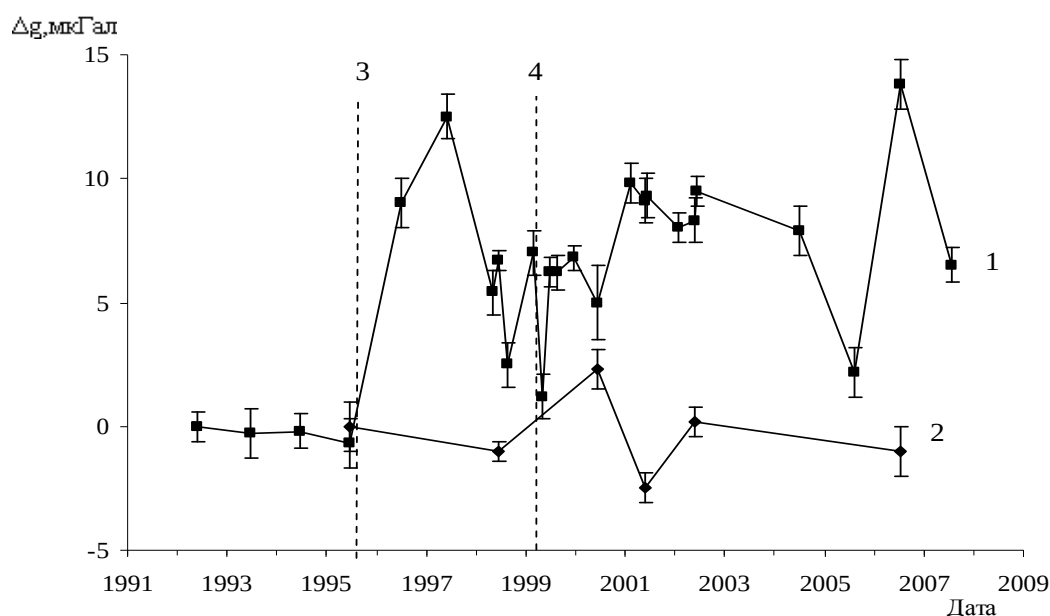


Рис. 1. Вариации ускорения силы тяжести в Иркутской области: 1 – пункт «Талая»; 2 – пункт «Иркутск»; 3 – землетрясение 29.06.1995 ($M = 5,5$; $L = 50$ км от пункта «Талая»); 4 – землетрясение 25.02.1999 ($M = 5,9$; $L = 80$ км от пункта «Талая»).

Таким образом, изменение высоты пункта наблюдений на 1 см вызывает изменение Δg , не превосходящее погрешность измерений лазерным гравиметром. С учетом этого и по результатам измерений Δg можно заключить, что в 1992–1995 гг., когда вариации Δg не превышали $\pm 0,5$ мкГал, высота пункта наблюдений была стабильна в пределах $\pm 1,5$ мм. В 1996–1997 гг. произошло снижение уровня h точки наблюдений на 4 см (изменение Δg при этом составило 12 мкГал). С 1998-го года по 2000-й год произошло повышение h на 3 см, сопровождаясь колебаниями в виде переходного процесса с размахом до 1,5 см. С 2005 г. вновь наблюдаются резкие (до 3 см в год) изменения h . Контрольные измерения Δg в платформенной области (в г. Иркутске и в

Новосибирской области) не зарегистрировали вариаций Δg , превышающих погрешность измерений, что свидетельствует о локальном характере вариаций Δg на пункте «Талая». При анализе причин зарегистрированных на пункте «Талая» вариаций Δg были учтены результаты измерений деформаций и наклонов земной поверхности вблизи этого пункта (удаление не более 50 м), проведённых сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН и Института лазерной физики СО РАН (рис. 2).



Рис. 2. Векторная диаграмма хода наклона в секундах дуги (наклон на север – вверх и на восток – вправо) с марта 1985 года по ноябрь 2007 года. Стрелками показаны моменты землетрясений

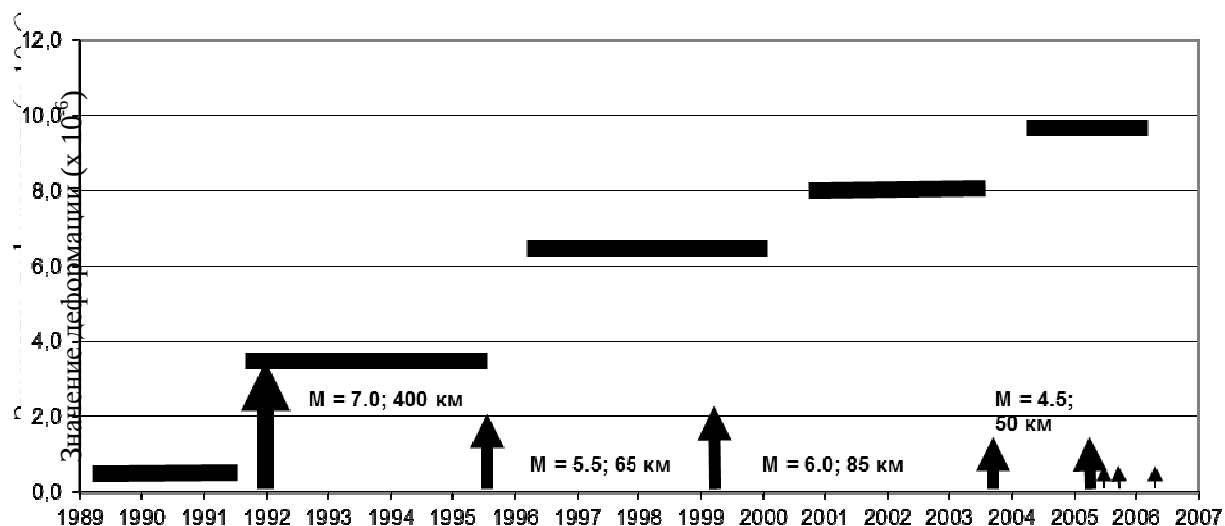


Рис. 3. Изменение объемной деформации, станция «Талая» – осредненные наблюдаемые значения по периодам с 1989 г. по 2007 год. Стрелками показаны моменты землетрясений 1991–2002 гг. (ряд 1)

Вариации Δg , приведённые на рис. 1, соответствуют изменениям объёмной деформации. Имеется также корреляция вариаций Δg с наклоном земной поверхности в точке наблюдений: в 1996 году произошло резкое изменение вектора наклона.

Корреляция изменений Δg и уровня подземных вод на данном пункте не обнаружена.

Возможна связь вариаций Δg с подготовкой и последствиями землетрясений 29.06.95 г. (магнитуда $M = 5,5$, расстояние до эпицентра $L = 50$ км) и 25.02.99 г. ($M = 5,9$, $L = 80$ км).

По данным сейсмологических исследований Института земной коры СО РАН (г. Иркутск) и Байкальской опытно-методической сейсмологической экспедиции Геофизической службы СО РАН, механизм очага землетрясения 29.06.95 г. характеризовался отсутствием вертикальной компоненты смещения земной коры (главной компонентой было сжатие земной коры), а для землетрясения рифтового типа 25.02.99 г. (главная компонента – растяжение) вертикальные смещения были основными. Это и отразилось во временных вариациях поля силы тяжести на пункте «Талая».

Результаты спутниковых наблюдений [3], проведенных в 1994–2004 гг. Институтом земной коры СО РАН, имеют сравнительно большую погрешность измерений. Поэтому оценить скорость горизонтальных движений пунктов GPS наблюдений можно только по среднему значению за 10 лет. Для пункта «Талая» скорость относительно станции Иркутск составила $\approx (2,42 \pm 0,19)$ мм/год. Погрешность измерения вертикальных движений методами GPS-геодезии еще выше, в связи с чем эти скорости можно оценить лишь качественно (по направлению движения). Поскольку преобладающим для пункта «Талая» было растяжение земной коры, то можно считать, что оно сопровождалось

понижением уровня земной коры. Это соответствует результатам измерения вариаций Δg в этот период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арнаутов Г.П., Калиш Е.Н., Смирнов М.Г., Стусь Ю.Ф., Тарасюк В.Г. Лазерный баллистический гравиметр ГАБЛ-М и результаты наблюдений силы тяжести. / Автометрия. 1994. № 3. С. 3–11.
2. Тимофеев В.Ю., Сарычева Ю.К., Панин С.Ф., Анисимова Л.В., Гриднев Д.Г., Масальский О.К. Исследование наклонов и деформаций земной поверхности в БРЗ. / Геология и геофизика. 1994. № 3, С. 119–129.
3. Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Кале Э., Ашурков С.В. Современные тектонические деформации Центральной Азии по данным измерений методом GPS-геодезии за 1994–2004 гг. / В сб.: Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Вып. 2. Институт земной коры СО РАН. Иркутск, 2005. С. 28–37.

© Г.П. Арнаутов, Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стусь,
М.Г. Смирнов, В.Ю. Тимофеев, 2008

УДК 631.4

Н.В. Гопп, Е.А. Куликова, В.В. Смирнов

ИПА СО РАН, ИВТ СО РАН, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЛАТЕРАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАКТОРОВ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СНИМКОВ

N.V. Gopp, E.A. Kulikova, V.V. Smirnov

Institute of Soil Science and Agrochemistry (ISSA SBRAS), 18 Sovietskaya St.,
Novosibirsk, 630099, Russian Federation

Institute of Computational Technologies (ICT SBRAS), 6 Akad. Lavrentjev avenue,
630090, Russian Federation

RESEARCH OF REGULARITIES OF LATERAL DIFFERENTIATION OF SOIL COVER DEPENDING ON SOIL-FORMING FACTORS WITH USAGE OF POLIZONAL AND RADIO-LOCATING SURVEY

The data are given on processing of polizonal and radio-locating survey for detection of lateral differentiation of soil cover depending on soil-forming factors. As result the complex landscape profiles have been compiled. The profiles under question characterizing spatially soil-forming factors.

The paper deals as well with the potentialities of the clustered analysis of data on polyzonal survey while studying of plant with similar spectral- brightness parameters.

При комплексном исследовании закономерностей латеральной дифференциации почвенного покрова важное значение приобретают данные дистанционного зондирования, а также методы автоматического дешифрирования многозональных космических снимков и методы сопряжённого пространственного анализа почвенных, геоботанических, геоморфологических и литологических данных. Применение этих методов обусловлено, прежде всего, необходимостью выявления причинной взаимосвязи между компонентами ландшафта, что в свою очередь способствует разработке методологии диагностики почвенного покрова по данным дистанционной информации.

Объекты и методы исследования

Исследовались почвенный покров, растительность, рельеф и почвообразующие породы на ключевых участках Болотнинского района Новосибирской области. Этот район имеет сложное геологическое и тектоническое строение и находится в зоне сочленения мегаструктур разной

геодинамической природы Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянской складчатой области [1].

Ключевой участок № 1 ограничен координатами $83^{\circ}50'43'' - 83^{\circ}55'20''$ в. д., $55^{\circ}54'45'' - 55^{\circ}53'15''$ с. ш. (рис. 1). Ключевой участок № 2 ограничен $84^{\circ}23'7'' - 84^{\circ}28'3''$ в. д., $55^{\circ}59'23'' - 55^{\circ}57'26''$ с. ш. (рис. 2).

Обработке подвергался фрагмент многозонального снимка Landsat 7 ETM+ с пространственным разрешением 30 м, полученный 1 августа 1999 г. и прошедший радиометрическую и геометрическую коррекции.

Данные наземных маршрутных наблюдений, собранные с помощью системы глобального позиционирования (GPS) использовались для построения графика отражательной способности формаций растительности применительно к съемке Landsat 7 ETM+. Фрагмент снимка подвергался обработке двумя алгоритмами ISODATA и CCA (Combined Clusterization Algorithm).

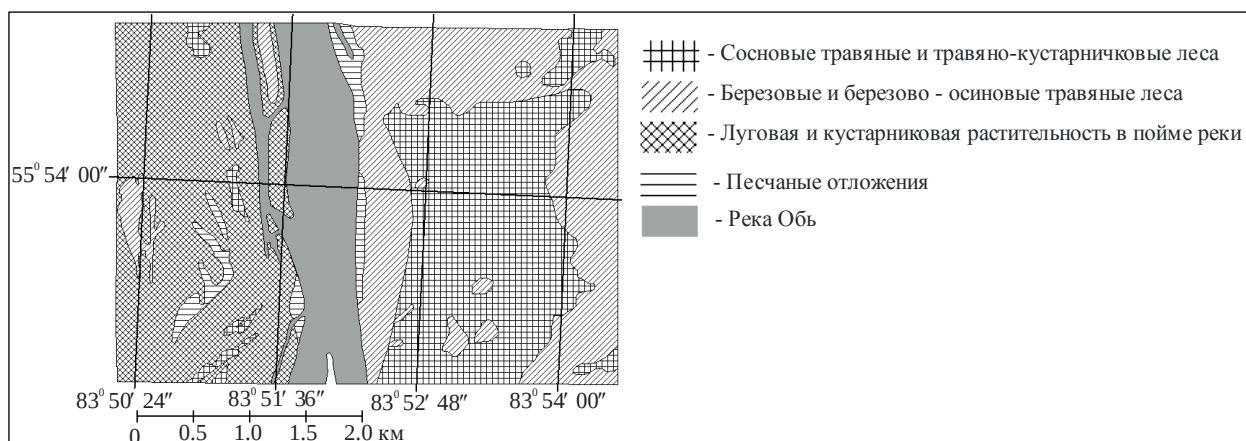


Рис. 1. Картограмма ключевого участка № 1 полученная на основе визуально-инструментального дешифрирования снимка Landsat 7 ETM+

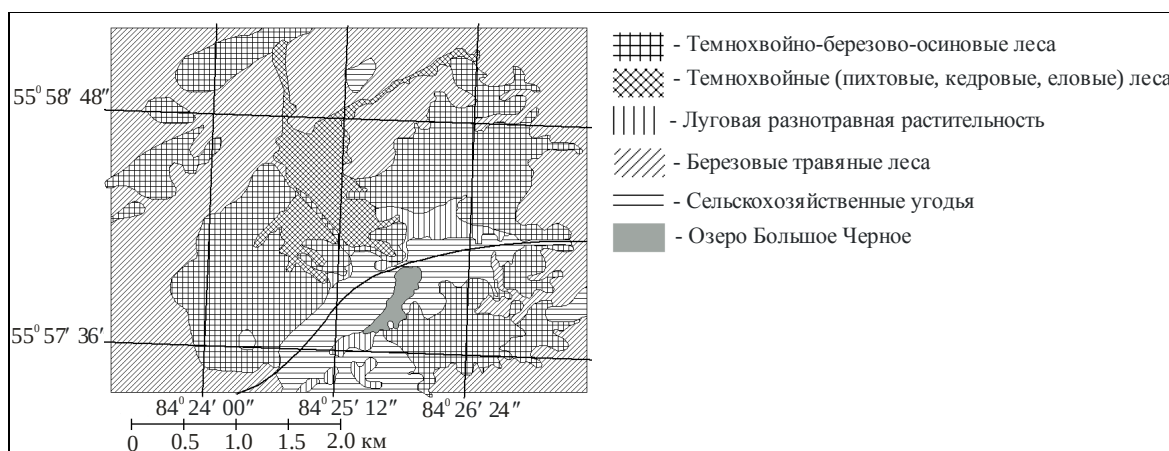


Рис. 2. Картограмма ключевого участка № 2, полученная на основе визуально-инструментального дешифрирования снимка Landsat 7 ETM+

Для изучения количественных характеристик морфометрических параметров рельефа (крутизны и экспозиции склонов, высоты над ур. м., степени вертикальной расчленённости) использовался радиолокационный снимок SRTM (разрешение 90 м, длина волны в С-и Х-диапазоне 5,6 и 3,1 см соответственно).

Для построения ландшафтных профилей в полуавтоматическом режиме кроме многозональных снимков, использовались дополнительно радиолокационные снимки SRTM, а также почвенная карта Новосибирской области [3].

Комплексное изучение и оценка количественных параметров компонентов ландшафта подразумевают проведение целого ряда работ по сбору, расчету и анализу пространственно-распределённой информации в географических информационных системах (ГИС).

Результаты и обсуждение

В результате анализа спектрально-яркостных характеристик лесной растительности (рис. 3), установлено, что различные формации растительности имеют высокую спектральную селективность. Исключением являются темнохвойные (пихта, кедр, ель) и сосновые (травяные и травяно-кустарничковые) леса, имеющие близкие характеристики.

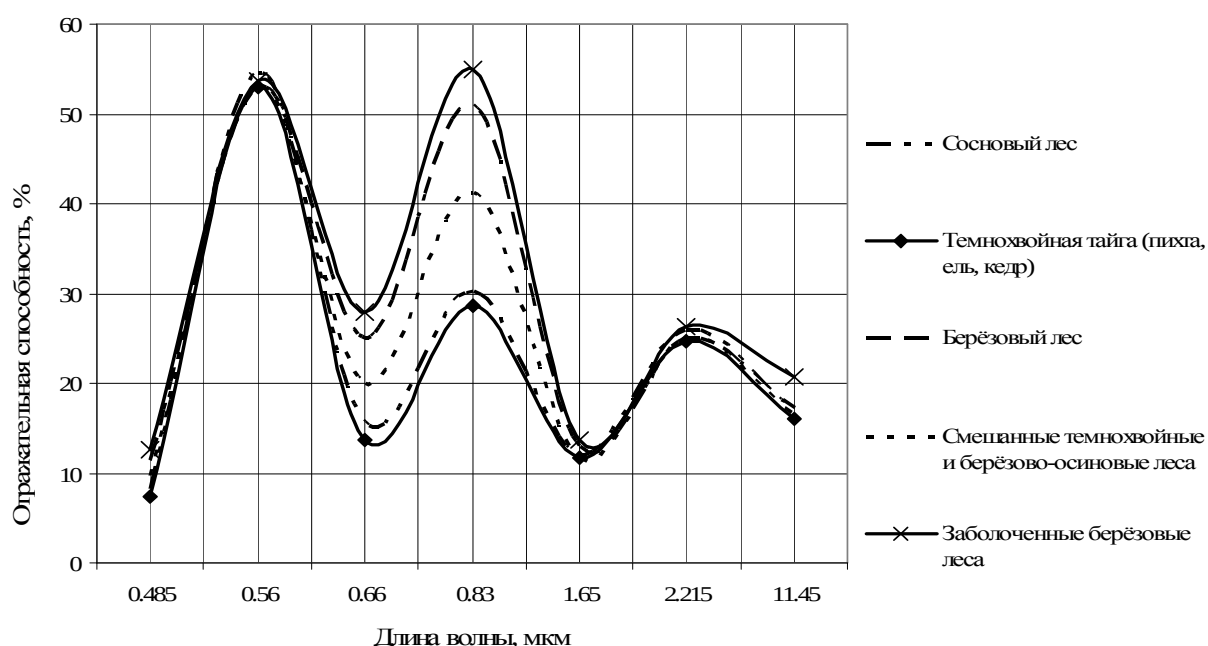


Рис. 3. Характеристики спектрального отклика лесной растительности

Для автоматизированного дешифрирования снимка были апробированы два алгоритма ISODATA и СА. Результаты исследований показали, что для решения проблемы распознавания растительности с близкими спектрально-яркостными характеристиками, более всего подходит алгоритм СА с предварительной обработкой (сегментация изображения с пороговыми значениями 140 и 240 по гистограмме вегетационного индекса) [2].

В результате сопряжения пространственной информации полученной в ходе обработки многозональной и радиолокационной съёмки, а также данных полевых исследований и тематических картографических материалов (почвенная карта, карта почвообразующих пород) составлены комплексные ландшафтные профили, характеризующие пространственные характеристики факторов почвообразования (рис. 4, 5).

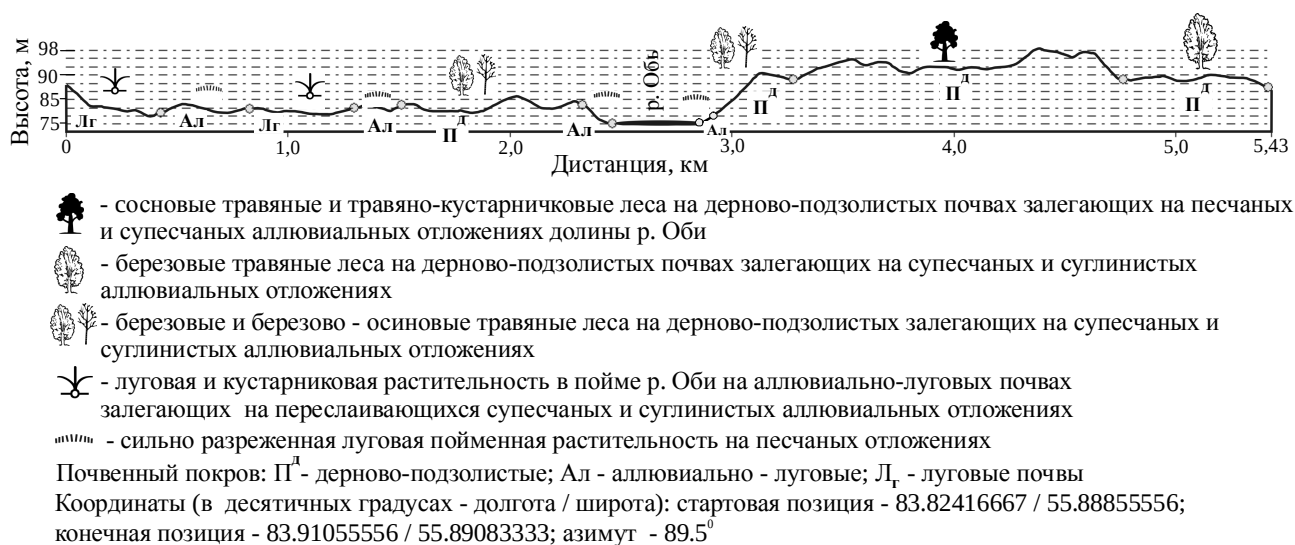


Рис. 4. Комплексный ландшафтный профиль в долине р. Оби в окрестностях д. Кругликово, ключевой участок № 1 (Болотнинский р-н, Новосибирская обл.)

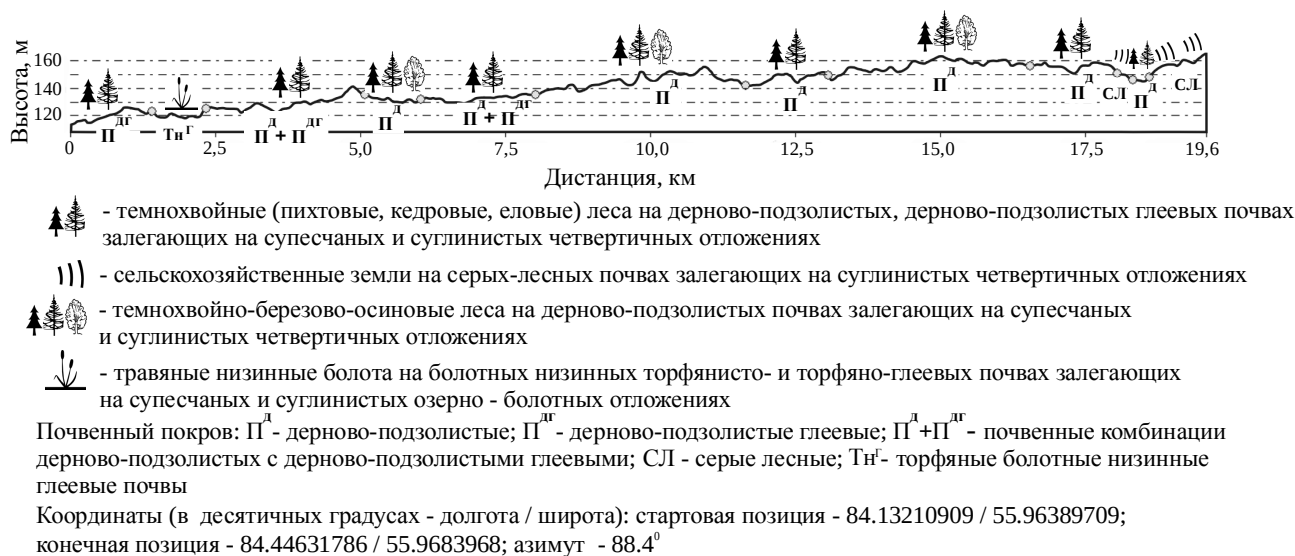


Рис. 5. Комплексный ландшафтный профиль в окрестностях д. Большое Чёрное ключевой участок № 2 (Болотнинский р-н, Новосибирская обл.)

Результаты анализа ландшафтных профилей показали, что внешне похожие участки местности, выделенные на космическом снимке по формациям растительности, имеют индивидуальные сочетания компонентов ландшафта, т. е. одна и та же формация растительности может произрастать на разных типах почв и разных формах рельефа. Данная особенность сильно усложняет

выделение картографических контуров таксономических единиц почв, а также фаций, урочищ или местностей, основных составных частей ландшафта. Но, не смотря на это, анализ факторов, определяющих природу пространственного варьирования почвенно-растительного покрова и поиск взаимосвязи между компонентами ландшафта в целом, может являться ключом для дальнейшей дешифровки еще не обследованных территорий.

На ключевом участке № 1 в долине р. Оби прослеживается четкая зависимость между относительно повышенными участками рельефа и произрастанием сосновых травяных и травяно-кустарничковых лесов на дерново-подзолистых почвах (рис. 4). К пониженным плохо дренированным участкам поймы р. Оби, в левобережной части приурочена в основном лугово-кустарниковая растительность на аллювиально-луговых почвах.

На ключевом участке №2 влияние вертикальной расчленённости на распределение растительности и почв не выявлено. Вероятно, это связано с высоким атмосферным увлажнением, перераспределением поверхностного стока в пониженные участки и близким залеганием грунтовых вод, которые нивелируют влияние незначительных перепадов высот рельефа на распространение темнохвойных лесов. Темнохвойная тайга встречается как на очень пологих (уклоны до 1-2°) нижних частях склонов, примыкающих к ложбинам стока, так и на повышенных элементах рельефа (рисунок 5).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свиридов В.Г. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Т. I. Геологическое строение / МПР РФ. / Краснов В.И., Сурков В.С. и др. / Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ. – 1999. – 228 с.
2. Гопп Н.В. Распознавание формаций лесной растительности с близкими спектрально-яркостными характеристиками по данным съемки со спутника Landsat 7 ETM+ / Куликова Е.А, Пестунов И.А., Синявский Ю.Н., Смирнов В.В. / Вычислительные технологии спец. вып. 2, том 12. – 2007. – С. 194-201.
3. Почвенная карта Новосибирской области, М 1 : 400 000, Запсибгипрозем, 1987.

© Н.В. Гопп, Е.А. Куликова, В.В. Смирнов, 2008

УДК 519.24
С.А. Ефимов
ИВМ и МГ СО РАН

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЯДРА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ОТ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

S.A. Efimov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS
6, Prosp. Lavrenteva, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

FEATURES OF FORMATION OF A NUCLEUS OF TRANSFORMATION OF THE OPTIMUM FILTER WITH USE OF EXPERIMENTAL RECORDINGS A SEISMIC FIELD IN A NEAR ZONE FROM ALLOCATED MINER EXPLOSIONS

In the report the opportunity of use of the miner explosions allocated in space for formation qualitative seismogram is shown. High quality сейсмограмм is achieved by use of a nucleus of the transformation formed as experimental recordings of distributed explosion in a near zone.

Постановка задачи. Вопрос использования энергии промышленных взрывов в качестве зондирующих сигналов для проведения исследовательских геофизических работ, связанных с изучением литосферы земли, привлекает внимание геофизиков на протяжении многих лет. Технология проведения геофизических работ включает в себя процедуру построения сейсмограмм. В естественном виде (непосредственная регистрация колебаний поверхности земли) качество сейсмограмм не всегда приводит к удовлетворительным результатам. Поэтому используется согласованный или оптимальный приемник, осуществляющий дополнительную обработку данных регистрации по следующему алгоритму:

$$q(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot R(t - \tau) \cdot d\tau, \quad (1)$$

где $s(t)$ – сигнал на входе приемника; $R(t)$ – ядро преобразования; $q(t)$ – сигнал на выходе приемника.

При этом ядро преобразования для оптимального фильтра должно удовлетворять условию [1]:

$$R(t - \tau) = s_0(t - \tau). \quad (2)$$

где $s_0(t)$ – функция зондирующего сигнала, формируемого распределенным карьерным взрывом в однородной среде в волновой зоне.

Распределенный карьерный взрыв как физическое явление представляет собой сложный процесс формирования сейсмической волны. По аналогии с атомным взрывом пространство формирования ударной и сейсмической волны разделяется на две области: области нелинейных и линейных деформаций. Для получения сейсмограммы от карьерного взрыва в дальней зоне по формуле (1) необходимо иметь ядро преобразования $R(t)$. Построение математической модели этого ядра является задачей нетривиальной. Поэтому более конструктивным подходом для решения этой задачи, по мнению автора, является экспериментальное измерение сейсмического сигнала в ближней волновой зоне с дальнейшим использованием его в качестве функции ядра.

Исследование сейсмического сигнала. На рис. 1 представлена запись карьерного распределенного взрыва в волновой зоне в районе Бачатского угольного разреза Кемеровской области. Для регистрации использована сеймостанция «РОСА» и трехкомпонентный сейсмометр СК1-П. Время регистрации – 10 августа 2001 г. Взрыв формируется из 220 скважин по 180 кг взрывчатого вещества в каждой скважине. Одновременно взрываются 10 скважин. Время между взрывами – 25–30 мс. Значение общего времени взрыва находится в диапазоне 550 – 660 мс. Среда взрыва – угольный блок.

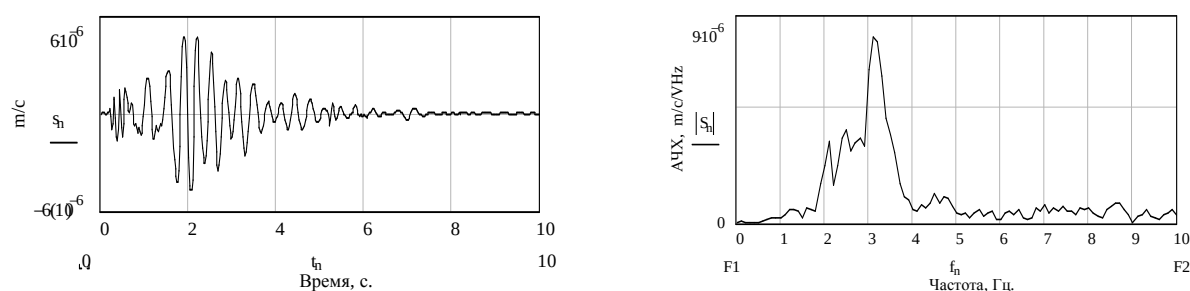


Рис. 1. Сейсмический сигнал от карьерного взрыва в волновой зоне, сейсмометр СК1-П № 1, Z компонента (рисунок слева); спектральная характеристика сейсмического сигнала (рисунок справа)

На рис. 2 представлена запись карьерного распределенного взрыва в дальней зоне в районе Быстровского полигона Новосибирской области. Сеймостанция – ВИРС-М. Количество сейсмометров СК-1П - 5.

На рис. 3 представлены результаты обработки по формуле (1) сейсмических сигналов в дальней зоне. При этом в качестве ядра преобразования использована экспериментальная запись карьерного взрыва в ближней зоне, соответствующая рис. 1.

Сравнение сейсмических сигналов от карьерного взрыва в дальней зоне по рис. 2 с результатами обработки этих сигналов (рис. 3) показывает целесообразность предлагаемого способа обработки с целью повышения достоверности определения времени вступления сейсмических волн.

Для успешного использования записей взрыва в ближней зоне при формировании сейсмограммы необходимо провести регистрацию взрыва в

волновой зоне. Граница раздела нелинейных и линейных деформаций находится на определенном расстоянии от точки или области взрыва. Исследователь расставляет сейсмометры для регистрации взрыва в ближней зоне, учитывая мощность, геометрию взрывных скважин и характеристику среды. При этом всегда существует неопределенность, которая может привести к ситуации, когда часть сейсмометров регистрируют сигнал в нелинейной зоне, а часть сейсмометров – в линейной (волновой) зоне. Для анализа данных регистрации с целью определения: относится сигнал к волновой зоне или зоне деформации, – можно использовать следующую функцию:

$$G(\omega, \tau) = [\operatorname{Re}\{ S(\omega) \cdot e^{j\omega \cdot \tau} \}]^2. \quad (3)$$

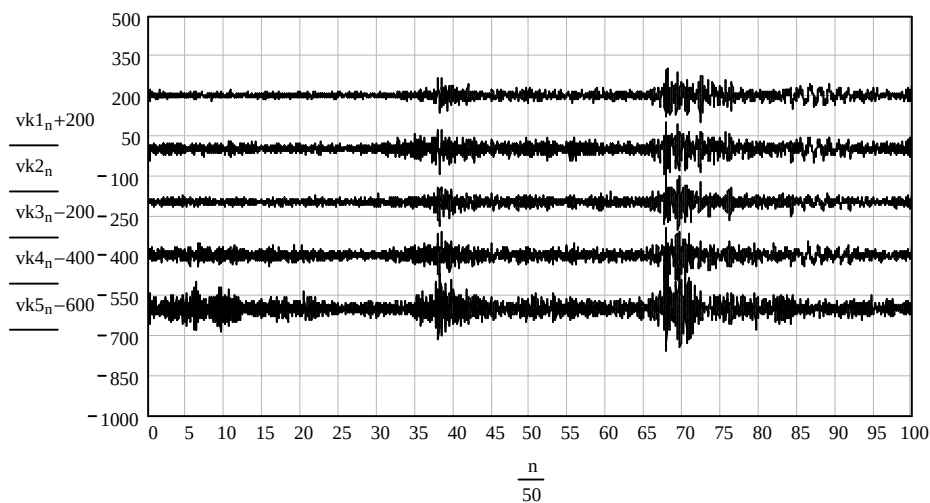


Рис. 2. Сейсмический сигнал от карьерного взрыва в дальней зоне, 5 сейсмометров СК1-П, Z компонента. Расстояние между сейсмометрами 200 м

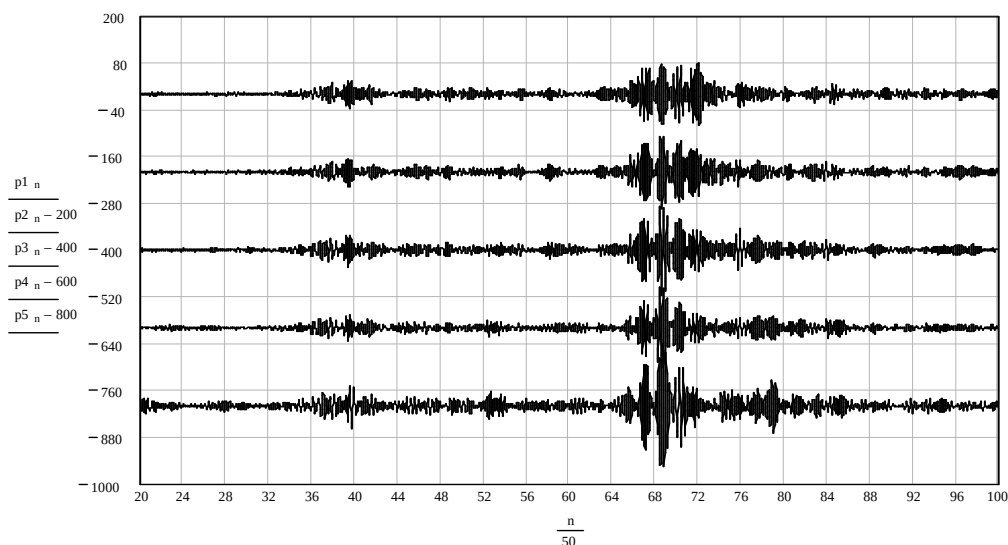


Рис. 3. Результаты обработки сейсмического сигнала от карьерного взрыва в дальней зоне, 5 сейсмометров СК1-П, Z компонента. Расстояние между сейсмометрами 200 м

Использование этой функции для анализа записей взрыва позволяет формировать своеобразную «голограмму», вид которой достаточно точно идентифицирует область регистрации – волновая или область деформации. В качестве примера рассмотрим «голограммы» записи карьерного взрыва двух сейсмометров, полученных в соответствии с формулой (3). При этом один сейсмометр располагался ближе к точке взрыва. На рис. 4 показаны «голограммы» карьерных распределенных взрывов и соответствующие им временные сигналы в волновой зоне (слева) и на границе нелинейная – линейная область (справа). Место регистрации: район Бачатского угольного разреза Кемеровской области, сейсмостанция «РОССА», трехкомпонентный сейсмометр СК1-П, Z компонента, дата регистрации – 10.08.2001. Ось ординат рис. 4 соответствует аргументу ω и имеет масштаб $0,1 \cdot \text{Гц}$. Ось абсцисс рис. 5 соответствует аргументу τ и имеет масштаб $0,02 \cdot \text{с}$.

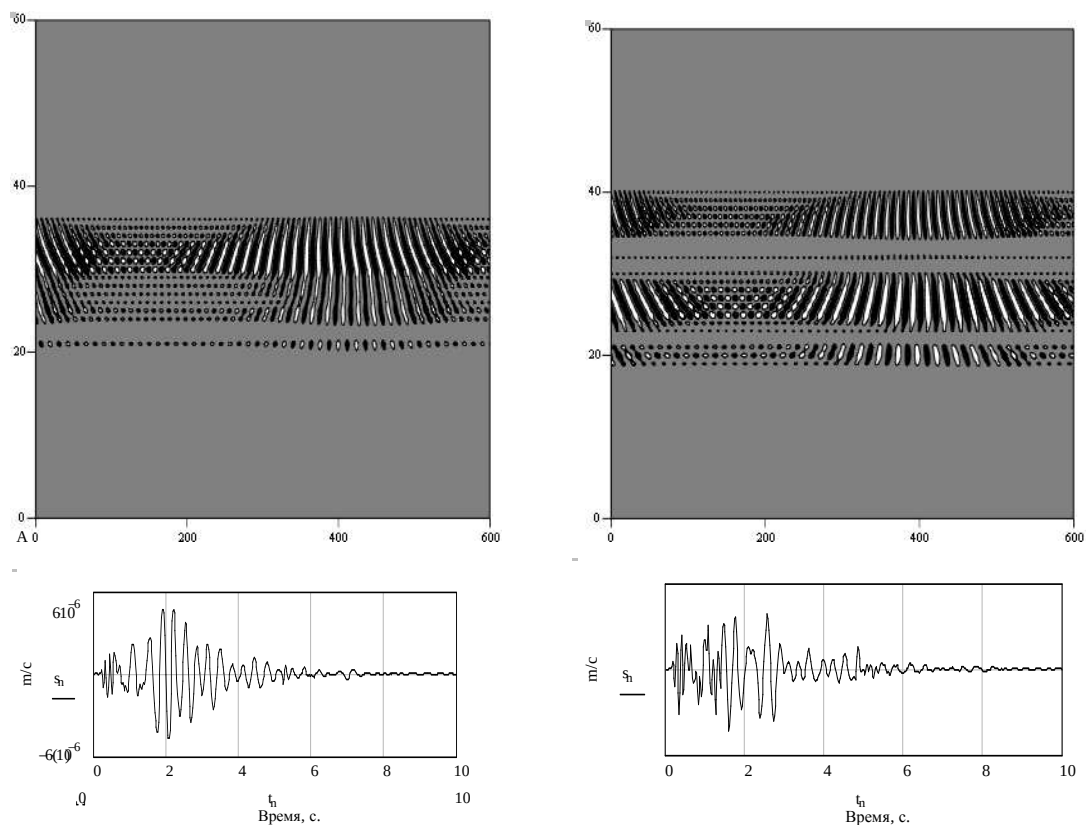


Рис. 4. «Голограммы» карьерного распределенного взрыва и соответствующие им временные сигналы в волновой зоне (слева) и на границе нелинейная – линейная область. Место регистрации: район Бачатского угольного разреза Кемеровской области, Z компонента, сейсмостанция «РОССА», дата регистрации – 10.08.2001

Особенностью «голограммы» распределенного карьерного взрыва в точке регистрации, соответствующей волновой зоне, является наличие определенной структурности рисунка – единства структурного рисунка, – и концентрация энергии сигнала в небольшом частотном диапазоне, в данном случае в диапазоне

от 2 до 4 Гц. На «голограмме» распределенного карьерного взрыва на границе нелинейная – линейная область видно нарушение единства рисунка структуры и расширение частотного диапазона. В качестве примера «голограммы» записи карьерного взрыва в зоне деформации (нелинейная область), рассмотрим запись карьерного взрыва в районе поселка Таштагол Кемеровской области, дата регистрации – 26.06.2004. На рис. 5 показаны «голограммы» карьерного распределенного взрыва и соответствующие им временные сигналы с сейсмометров, расположенных в зоне деформации (нелинейная область).

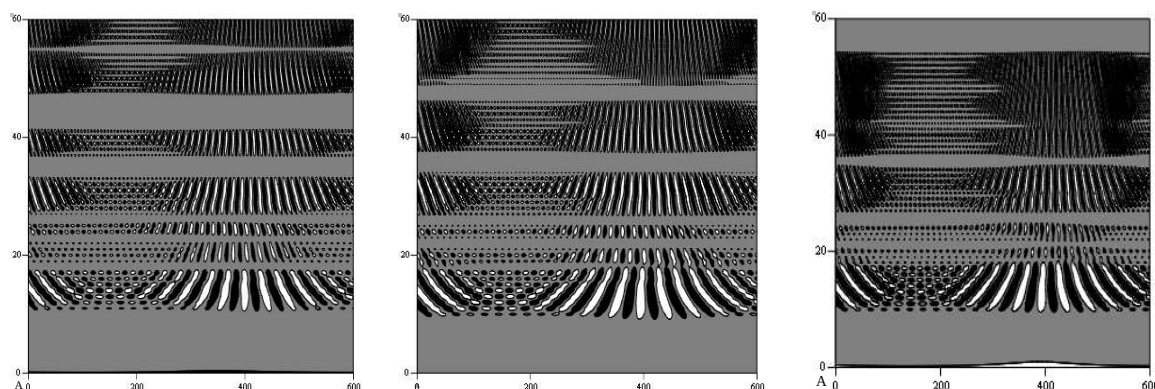


Рис. 5. «Голограммы» карьерного распределенного взрыва. Место регистрации: район поселка Таштагол Кемеровской области, дата регистрации – 26.06.2004

Представленные на рис. 5 «голограммы» карьерного взрыва объективно характеризуют место расположения сейсмометров как нелинейную область – зону деформации. На всех «голограммах» распределенного карьерного взрыва, зарегистрированного в нелинейной зоне деформаций, видно нарушение единства рисунка структуры и существенное расширение частотного диапазона.

Выводы. Предложенный способ обработки позволяет формировать более качественные «взрывные» сейсмограммы с использованием функции ядра преобразования, полученной на основе экспериментальных данных. Увеличение качества сейсмограмм для точек регистрации в дальней зоне обусловлено дополнительной фильтрацией за счет использования процедуры свертки. «Голограммы» карьерных взрывов, полученные с использованием функции (4), представляют для исследователя полезный и оперативный инструмент анализа качества сейсмических данных. Представленный в данной работе способ обработки позволяет более эффективно использовать энергию промышленных взрывов для проведения исследовательских геофизических работ, связанных с изучением литосферы земли.

Благодарности. Автор выражает благодарность всем участникам научных семинаров лаборатории геофизической информатики ИВМиМГ СО РАН, в атмосфере которых формировалась постановка задач и проблем обработки сигналов в геофизике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов / – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
2. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов / А.М. Трахтман / М.: Изд-во «Советское радио», 1972. – 352 с.
3. Сильвия М.Т. Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ / М.Т. Сильвия, Э.А. Робинсон. – Пер. с англ. М.: Недра, 1983. – 447 с.

© С.А. Ефимов, 2008

УДК 528.8

О.А. Слинкина, А.И. Сухинин

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Л.В. Буряк

Сибирский государственный технологический университет

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОРАЖЕНИЯ НА ПОЖАРИЩАХ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

O.A. Slinkina, A.I. Sukhinin

V.N. Sukachev Institute of Forest, Sb. Br. RAS

Academgorodok, 50-28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

L.V. Buriak

Siberian State University for Technology

METHODOLOGY OF FIRE SEVERITY DETECTION USING SATELLITE DATA

The methodology for data processing to generate vegetation condition maps using information from Landsat ETM+ is offered in this work. Geographical information system ERDAS IMAGINE was used for images interpretation. Results, obtained from satellite data was verified by ground observation information.

Развитие космических средств дистанционного зондирования и географических информационных систем (ГИС) позволило разработать принципиально новые методы оценки состояния лесов. Важной задачей при оценке эколого-экономического ущерба, нанесенного лесному хозяйству в результате лесных пожаров, является определение площади поврежденных древостоев, а так же степени повреждения.

Целью работы являлась разработка методик обработки спутниковых данных с применением ГИС для определения состояния нарушенного растительного покрова и получения картосхем, содержащих информацию о текущем состоянии растительного покрова. Данная методика может применяться в оценке ущерба, нанесенного лесным насаждениям.

Объектом исследования данной работы являются бореальные леса Красноярского края. В работе исследован район, относящийся к южнотаежной и среднетаежной зоне, включающий территории Кодинского, Богучанского и Тунгуско-Чунского лесхозов Красноярского края. Район представляет интерес как зона интенсивного лесопользования, изучен с точки зрения оценки воздействия рубок и пожаров на лесные насаждения.

Для решения поставленных задач использована ГИС ERDAS IMAGINE. Данная ГИС ориентирована на обработку растровых изображений, получаемых с различных спутников. В настоящей работе использованы многоспектральные

снимки спутников LANDSAT, а так же информация о действующих пожарах, полученная по тепловым каналам спутника NOAA.

Оценка степени поражения на пожарище, характеризующаяся, в основном, процентом запаса погибшего древостоя от его общего запаса до пожара, и оценка хода лесовосстановления на территории после рубки, выполнена с применением вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Снимки Landsat ETM+ 2006 года применялись для получения контуров пожарищ 2006 года, расчета вегетационного индекса, проведения автоматической классификации с обучающей выборкой для выявления различных классов поражения растительности внутри контуров пожарищ. Снимки Landsat ETM+ 2002 и Landsat TM 1993 года использовались с целью определения вида преобладающей породы, занимающей территории пожарищ до момента воздействия огня и расчета разности NDVI до и после поражения.

На снимках Landsat ETM+ P138R019, P139R018 полученных в 2006 году было выделено 30 пожарищ, возникших в 2006 году, общей площадью 3 133 кв. км. Границы получены путем полуавтоматического дешифрирования снимков Landsat ETM+ методом наращивания областей, реализованного в ГИС ERDAS IMAGINE. Снимки, использованные для выделения границ областей пожарищ, получены в 2006 году после окончания действия пожароопасного сезона на исследуемой территории. Наличие факта действия пожара подтверждено информацией о наблюдаемых в тепловых каналах спутника NOAA\AVHRR термически активных точках. По данным станции приема и обработки спутниковой информации ИЛ СО РАН (Красноярск) период действия пожаров в изучаемом районе длился с 5 июня по 16 августа 2006 года.

Изучаемые пожарища возникли в результате действия пожаров разной интенсивности. Для определения класса поражения после пожаров, нарушенные огнем территории были разбиты на две категории по состоянию до пожара:

- Ранее неповрежденные – наличие древостоя;
- Ранее поврежденные (пожаром, вырубкой) – полное отсутствие леса или редины.

Для первой категории территорий степень поражения оценивалась по послепожарным значениям NDVI. На рис. 5 показан результат расчета NDVI для одного из изучаемых пожарищ. NDVI отображен в градациях серого, где более низким значениям NDVI соответствуют более темные оттенки серого. Хорошо видна неоднородность значений NDVI внутри контура пожарища.

На пожарищах выделено 5 классов поражения таким образом, что с возрастанием номера класса уменьшается интенсивность поражения. Для этого весь диапазон наблюдаемых на пожарищах значений NDVI был разбит с равным интервалом на 5 групп. Выделенным классам соответствуют следующие средние значения NDVI:

- I класс поражения, NDVI -0.1;
- II класс поражения, NDVI 0.03;

- III класс поражения, NDVI 0.16;
- IV класс поражения, NDVI 0.29;
- V класс поражения, NDVI 0.42.

Степень поражения зависит, прежде всего, от вида, формы и интенсивности пожара. Так, при устойчивых пожарах огонь заглубляется в подстилку, и большая степень повреждения обуславливается длительным временем воздействия огня, повреждением корневых лап и луба деревьев. Вид, форма и интенсивность (сила) пожара зависит от характеристик насаждений, рельефа и степени увлажнения почв, возможно – от времени суток и влажности воздуха. Часть изучаемых насаждений была пройдена верховыми пожарами, а больший процент территории - низовыми пожарами различной формы и силы.

Верховые пожары развивались в средневозрастных и приспевающих хвойных насаждениях с преобладанием сосны и в спелых хвойных насаждениях с густым подростом хвойных пород. После воздействия верховых пожаров наблюдается полная гибель древостоев, что подтверждается данными дистанционного зондирования и соответствует I классу поражения.

После воздействия сильного низового устойчивого пожара степень повреждения, оцененная как отпад по запасу древостоя, древостоев превышает 70-90% (I и II классы поражения). Такой вид, форма и сила огня характерна для среднеполнотных древостоев на переувлажненных почвах. Большая часть деревьев к осени 2007 года вывалилась. После пожара выжили единичные деревья лиственницы по повышению рельефа.

В смешанных спелых хвойных древостоях после воздействия устойчивого пожара от слабой до средней силы степень повреждения не превышает 40% от запаса – IV класс поражения. Такие пожары более характерны для спелых и перестойных высокополнотных насаждений зеленомошных групп типов леса. Однако, в последующем количество и запас погибших деревьев может возрасти, так как при прохождении огня в наибольшей степени прогорели приствольные круги и практически у всех деревьев корневые системы имеют огневые повреждения. В насаждениях с меньшей полнотой отпад по запасу составлял от 40 до 60 % (III класс поражения).

В высокополнотных средневозрастных и приспевающих древостоях пожары распространялись, как правило, мозаично, вследствие высокой влажности мощного напочвенного покрова (чаще моховой подушки). Пожар заглублялся в подстилку у приствольных кругов, а на большей части площади прогорал только верхний слой напочвенного покрова, отдельные участки вообще не были затронуты огнем. Отпад по запасу на таких участках осенью 2007 года не превышает 20% – V класс поражения. Хвойно-лиственные перегущенные молодняки, приуроченные к переувлажненным почвам, зачастую, не были затронуты огнем, даже если они были расположены в центре гари, что так же соответствует V классу поражения.

Для второй категории – ранее поврежденных территорий – степень поражения не оценивалась, поскольку с точки зрения лесопользования это не

имеет смысла ввиду полного или практически полного отсутствия леса. Основной задачей было определить принадлежность участка к данной категории. Такие участки выделялись по снимкам Landsat, полученным ранее 2006 года.

Для определенных выше классов поражения создана обучающая выборка, проведена классификация многоканальных изображений Landsat ETM+ за 2006 год методом максимального правдоподобия. Результат классификации из растрового вида преобразован в векторный вид, где полученные классы представлены в виде полигональных объектов. Проведена генерализация полученных полигонов, в результате которой выполнено присоединение полигонов с маленькой площадью, не играющих важной роли в общей картине классификации образований подстилающей поверхности, к соседним большим по площади полигонам. Границы полигонов классов поражений из прямоугольной формы, характерной для пикселей, из которых состоит растровое изображение, переведены в сглаженный вид, характерный для границ природных объектов.

Векторный слой границ различных классов поражения был совмещен с растровым изображением видимых каналов Landsat ETM+. Предполагается, что различным классам поражения соответствуют разные значения альбедо отражающей поверхности, в нашем случае на территории, пройденной огнем. Соответственно, области занятые разными классами поражения, визуально будут отличаться по цвету. Было отмечено совпадение границ, полученных с помощью автоматической классификации, с разными классами поражения, зрительно различающимися по цвету на RGB композите.

Точность классификации была оценена с помощью метода вычисления каппа-статистики, реализованного в ERDAS, которая является статистикой парной согласованности и выражает пропорциональное уменьшение ошибок полученных в процессе классификации по сравнению с ошибками «случайной классификации».

В качестве истинных были использованы данные наземных обследований исследуемых пожарищ. В том числе в полевой сезон 2007 года была обследована крупная гарь 2006 года в Пановском лесничестве Кординского лесхоза на границе с Иркутской областью. Пожар на данной территории развивался в период с 1 по 31 июля, при показателе ПВ-1 от 6000 до 10000 единиц, и был локализован на площади более 33 тыс.га.

Всего было заложено 15 пробных площадей в насаждениях с различными степенями поражения. В целом установлено, что, не смотря на то, что пожар распространялся при очень высоких показателях пожарной опасности по условиям погоды, степень повреждения древостоев после воздействия пожаров варьировала от 20 до 100 % от запаса древостоев, а перегушенные хвойно-лиственные молодняки вообще не были затронуты огнем. Собранные при наземных исследованиях результаты согласуются с классами поражения, выделенными внутри контуров пожарищ с помощью автоматической классификации многоканальных изображений Landsat ETM+. Полученное

значение каппа 0,86 свидетельствует о высокой степени согласованности переменных.

При этом следует отметить, что на второй год после воздействия огня объективно судить можно лишь о текущей степени повреждения, необходимо дальнейшее наблюдение за послепожарным отпадом и, особенно, на участках с насаждениями, пройденными устойчивыми пожарами, так как повреждаются корневые лапы, а кроны деревьев могут реагировать не сразу. Так, массовый вывал деревьев в древостоях, пройденных пожарами в 1996 году (при похожих погодных условиях), наблюдался в 2000-2001 году.

В результате классификации по степеням поражения были получены оценочные значения площадей различных классов поражения внутри пожарищ. Общие значения областей, занимаемых разными классами поражения для всех полученных пожарищ, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Класс поражения / отпад, %	Площадь, кв. км	Процент от общей площади
I / 80–100	39,78	1,3
II / 60–80	96,30	3,1
III / 40–60	777,65	24,8
IV / 20–40	251,84	8,0
V / 0–20	1380,91	44,1
Вторичное повреждение по гари	533,92	17,0
Вторичное повреждение по вырубке	52,52	1,7

Показана возможность выделения внутри контура пожарища областей, имеющих разные степени поражения. Разработана методика оперативной оценки классов поражения внутри контуров пожарищ с помощью автоматической классификации многоканальных изображений Landsat. Определены последовательности действий, которые необходимо выполнить для перевода из растрового в векторный вид результата классификации, генерализации и сглаживания границ полученных полигонов. Для 30 пожарищ 2006 года, детектированных на территории Нижнего Приангарья, получены значения площадей, занимаемых разными классами поражения. Оценена точность классификации, выявлена высокая согласованность полученных классов и данных наземных обследований.

Разработанные методики могут применяться организациями и предприятиями Красноярского края, занимающимися инвентаризацией состояния лесов.

УДК 528.873

Н.В. Трофимова, А.И. Сухинин

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

О.А. Дубровская

Институт компьютерных технологий СО РАН, Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ MODIS ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЖАРНЫХ ЭМИССИЙ

N.V. Trofimova, A.I. Sukhinin

V.N. Sukachev Institute of Forest, Sb. Br. RAS, Russia

Academgorodok, 50-28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

O.A. Dubrovskaya

Institute of Computer Technologies Sb. Br. RAS, Russia, Novosibirsk

THE USE OF MODIS DATA FOR THE ESTIMATION OF WILDFIRE EMISSION

The possibility of MODIS/TERRA space information is analyzed for burnt area mapping using GIS technologies. The mass estimation of gases component CO₂, CO and CH₄, emitted as a result of large forest fires in Angara region in 2006 was obtained with all weather and forest fuel conditions considered. The method of smokes emissions propagation calculation is developed.

В работе анализируется возможность применения космических изображений MODIS/TERRA для идентификации и картирования, пройденных огнем участков лесного покрова и оценки дымовых эмиссий от крупных лесных пожаров с применением ГИС-технологий. Получена оценка массы газовых компонент CO₂, CO и CH₄, выделившихся в результате крупных лесных пожаров на территории Приангарья в 2006 году. Разработана методика расчета динамики распространения дымовых эмиссий.

Введение

Лесные пожары являются не только бедствием для населения, но и важным фактором локальных, региональных и даже глобальных экологических изменений, что проявляется, в выбросах в атмосферу дымовых газов и аэрозоля, которые вносят существенный вклад в образование и развитие парникового эффекта. В этой связи, оценка выбросов в атмосферу от лесных пожаров является одной из первоочередных задач.

Метод расчета пожарных эмиссий

В предлагаемом нами методе (1), каждый пожар рассматривается отдельно, непосредственно с момента возгорания до полного затухания. Это связано с неоднородностью различных участков лесных биогеоценозов и различием в интенсивности сгорания РГМ. По мере продвижения фронта пожара, площадь, пройденная огнем, ежедневно суммируется с предыдущим итогом. Компоненты

биомассы анализируются в каждом индивидуальном пикселе космического изображения, в соответствии с прохождением кромки пожара. Это позволяет получать более точные оценки сгоревшей биомассы, исходя из запаса горючих материалов, аккумулированных в пределах каждого пикселя. Уравнение для оценки сгоревшей биомассы выражается как:

$$M = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N B_i(x, y) \times A_{ij} \times a_{ij} \times b_{ij}, \quad (1)$$

где $B_j(x, y)$ – первоначальное количество органического вещества, находящегося на участке леса, до начала действия на этом участке j -того пожара, (кг/м²); x, y – координаты участка леса (пикселя изображения), на котором развивался j -тый пожар; A_{ij} – площадь, пройденная огнем в i -ый день действия j -того пожара. a_{ij} – доля лесных горючих материалов, которые могут поддерживать горение j -го пожара в i -ый день, (%); b_{ij} – полнота сгорания лесных горючих материалов на j -м пожаре в i -ый день, (%). Суммирование ведется ежедневно по каждому пикселю, участвующему в горении с момента начала пожара до его окончания. N – число дней действия каждого j -того пожара, N – общее количество пожаров, действовавших на территории района исследования за пожарный сезон.

Картирование пожарищ по многозональным изображениям спутника TERRA

Основываясь на указанных предпосылках, был разработан метод выявления повреждений пожарами на основе комбинированного использования временных серий данных спектрорадиометра MODIS спутника TERRA, и температурных аномалий, детектируемых в период горения по данным радиометра AVHRR спутника NOAA. Оценка точности созданных информационных продуктов по повреждениям растительности огнем выполнена путем их сравнения с репрезентативной выборкой опорных данных, сформированных с использованием изображений высокого пространственного разрешения, полученных прибором ETM+ со спутника LANDSAT.

Обработка информации проводится методами тематического дешифрирования и нацелена в основном на выявление мест пожаров и картирование участков, пораженных огнем. Результаты обработки представляются средствами ARC MAP в виде специальных тематических карт. В среде ГИС все результаты обработки привязываются к системе квартальной сети, что является основой идентификации очагов пожаров и в принятии решений для проведения мероприятий по их локализации и ликвидации.

Определение общего запаса биомассы и полноты сгорания лесных горючих материалов

Переход от объемов древесины к фитомассе каждого из компонентов лесных сообществ осуществлялся по методике разработанной В.Д. Стакановым с использованием таксационных данных лесной растительности и конверсионных коэффициентов. Значения о запаса подроста и подлеска были взяты из таксационных данных по преобладающим породам.

Данные о запасе подстилки, опада и живого напочвенного покрова были взяты из экспериментальных данных, полученных в результате полевых работ на территории Приангарья в 2006 году.

Полнота сгорания лесных горючих материалов зависит, прежде всего, от влагосодержания. В этой связи целесообразно использовать относительные показатели состояния лесов, получаемые на основе спектральных индексов, тесно коррелирующих с уровнем обеспеченности растений влагой. В качестве исходной информации такого рода может быть использован нормализованный дифференцированный вегетационный индекс (NDVI). По методу наименьших квадратов установлена корреляционная связь между полнотой сгорания лесных горючих материалов и вегетационным индексом. Полученное уравнение $y = -1,0483x + 0,922$, позволяет сделать вывод о наличии линейной зависимости между значениями вегетационного индекса (y) и полноте сгорания ЛГМ (x). Коэффициент корреляции ($R^2 = 0,92$) говорит о высокой корреляции между параметрами.

Массовый вклад дымовых аэрозолей рассчитывается по формуле:

$$m_c = M \times K_s, \quad (2)$$

где m_c – масса каждого из компонентов выделяющихся эмиссий, M – общее количество сгоревшей биомассы, K_s – коэффициенты выделения, равные 445 г/кг для CO_2 , 45 г/кг для CO , 4.55 г/кг для CH_4 .

Расчет процессов распространения парниковых газов

Концентрация углекислого газа восстанавливалась в узлах широтно-долготной сетки $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ с привлечением метеорологической информации Гидрометцентра о ветре, температуре и высоте с 19.07.2006 по 22.07.2007 г. Площадь пожаров, зафиксированная по данным спутника NOAA в 2006г. на территории Красноярского края и Иркутской области, составила около 0,45 млн. га, а восстановленные значения углекислого газа по данным о сгоревшей биомассе $\text{CO}_2 = 0.64 \cdot 10^9$ кг.

Методика расчета строилась на восстановлении значений объемной концентрации примеси в дискретных пространственных узлах $(\lambda_i, \varphi_i, p)$, расположенных на выбранной изобарической поверхности $p = \text{const}$, где (λ_i, φ_i) – узлы пространственной прямоугольной широтно-долготной сетки. Производился совместный учет математической модели и данных наблюдений для описания пространственно-временной картины распределения исследуемых полей. Этот метод известен как «усвоение данных». Системы усвоения данных разрабатываются в настоящее время в различных областях: метеорологии, океанологии, охране окружающей среды.

Для i -го сеточного узла широтно-долготной сетки производится вычисление координат траектории частицы $(\lambda(t), \varphi(t), p(t))$ в обратном времени. Шаг «прогноза» вдоль траектории для одного временного шага Δt можно записать следующим образом:

$$q_f^n = q_f^{n+1}. \quad (3)$$

В данной работе мы используем следующие индексные обозначения: « f » – шаг прогноза, « a » – шаг анализа.

Наибольшее значение концентрации (340.24 ppm) по результатам численных экспериментов локализовано в окрестности точки с координатами 91° в. д., 59° с. ш.

Институтом оптики атмосферы СО РАН лидарными установками был зафиксирован 21.07.2006 дымовой аэрозоль от приангарских пожаров в районе города Томска с координатами 85° в. д. 56° с. ш. Сравнивая модельные результаты и натурные данные, мы получили удовлетворительное пространственное совпадение максимальной концентрации примеси при переносе продуктов горения от лесных пожаров.

Результаты исследования

Для расчета площади поражения был проведен анализ нарушенности территории Центрального Приангарья лесными пожарами 2006 года. В результате обработки изображений в каналах видимого спектра электромагнитных волн спутника MODIS/TERRA с пространственным разрешением 250 м (дата съемки 14 августа 2006 года) было выявлено 144 пожарища, общей площадью 1 230 500 га. Для идентификации пожарищ проведено сопоставление координат и площадей пожарищ с результатами обнаружения соответствующих пожаров по информации спутника AVHRR/NOAA, полученной в инфракрасных каналах спектра за период наблюдения этого же региона с апреля по сентябрь 2006 года включительно.

Для оценки точности результатов картирования пожарищ, определенным по спутнику MODIS/TERRA, проводилось сравнение контуров этих пожарищ с изображениями тех же пожарищ, но полученным из данных съемки спутников высокого пространственного разрешения LANDSAT /ETM+, принятым как достоверная информация.

Анализировались сцены LANDSAT/ETM+ с пространственным разрешением 30 м, в том числе сцена 138 019 (дата съемки 7 сентября 2006 г.), 139 018 (13 августа 2006 г.) и 139 019 (5 августа 2006 г.). Подготовлена и проанализирована контрольная выборка в количестве 45 пожарищ с диапазоном площадей от 110 до 60 000 га. Сопоставление данных дешифрирования контуров пожарищ по данным MODIS /TERRA и LANDSAT/ETM+ демонстрирует хороший уровень согласованности результатов, что подтверждается наличием линейной связи между двумя наборами данных и высоким значением коэффициента регрессии ($R^2 = 0.83$). Расхождение результатов составляет 2 %, что свидетельствует о незначительном систематическом завышении площадей повреждений, определяемых с использованием разработанного метода.

Таким образом, можно сделать вывод о применимости метода распознавания и картирования пожарищ, используя данные MODIS/TERRA.

В результате обработки данных MODIS/TERRA получено значение суммарной площади пожарищ в районе Приангарья, составляющее 450 000 га. Это значение и было использовано для оценки дымовых эмиссий.

Источником данных по запасам биомассы служили статистические лесоустроительные материалы, экспериментальные данные, собранные во время полевых исследований и база данных по лесхозам Красноярского края. В результате расчетов, общее количество сгоревшей биомассы составило 1 440 тыс. тонн.

Учитывая процентное соотношение выхода газовых компонентов дымовых эмиссий по фазам тления/горения при распространении пожара, были рассчитаны массы основных газовых компонентов.

Всего в атмосферу на территории Приангарья, в результате пожаров 2006 года выделилось $\text{CO}_2 = 0,64 \cdot 10^9$ кг; $\text{CO} = 0,06 \cdot 10^9$ кг; $\text{CH}_4 = 0,01 \cdot 10^9$ кг.

Выводы

В результате проведенных исследований разработана методика оценки дымовых эмиссий по данным дистанционных спутниковых измерений с учетом развития пожара и относительной роли процессов пламенного и беспламенного горения.

Произведена оценка выбросов в атмосферу CO_2 , CO и CH_4 в результате массовых пожаров на территории Приангарья в 2006 году.

Разработан алгоритм распознавания и картирования пожарищ по многозональным изображениям спутников TERRA, который завышает оценку площади гари на 2 %, в сравнении с результатами картирования, по данным спутника LANDSAT+ETM.

В то же время, алгоритм картирования пожаров по данным спутника AVHRR/NOAA позволяет идентифицировать более 70 % обнаруженных очагов горения с общей площадью пожарищ, превышающую реальные значения почти на 30 %.

На основе таксационной информации и полевых наблюдениях составлена цифровая база данных по общим запасам биомассы и лесных горючих материалов для территории Центрального Приангарья и приведен метод определения полноты сгорания лесных горючих материалов на основе спутниковых данных, путем восстановления значений NDVI.

Рассмотрены причины возникновения неопределенностей и ошибок в оценке дымовых эмиссий, на основе чего сделан вывод, о том, что методика расчета позволяет производить оценку массы дымовых газов с точностью менее 30 %.

Работа выполнена при поддержке гранта по междисциплинарному интеграционному проекту СО РАН № 86 «Создание средств спутникового экологического мониторинга Сибири и Дальнего Востока на основе новых информационных и телекоммуникационных методов и технологий».

© Н.В. Трофимова, А.И. Сухинин, О.А. Дубровская, 2008

УДК 528.7

М.Ю. Александров

«Гео-Альянс», Москва

НЕМЕЦКИЙ ВЫСОКОДЕТАЛЬНЫЙ РАДАРНЫЙ СПУТНИК TERRASAR-X. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРЕИМУЩЕСТВА, ВЫБОР КРИТЕРИЕВ СЪЕМКИ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ, ЦЕНОВАЯ ПОЛИТИКА

M.Y. Alexandrov

«Geo-alliance»

Volokolamskoe shosse 4, Moscow, 125993, Russian Federation

RADAR SATELLITE TERRASAR-X. CHARACTERISTICS, ADVANTAGES, SURVEYING CRITERIA, APPLICATIONS, PRICE POLICY

Geo-Alliance is Partner Key Account of the Global Distribution Network TerraSAR-X Services. in accordance with the agreement with Infoterra GmbH (Germany) Geo-Alliance supply new-quality TerraSAR-X radar data, TerraSAR-X based geo-information products and services.

There are two major concepts to retrieve information on Earth:

Optical systems use sun light and thus are *passive sensors*. Radar systems use their own source of radiation and thus are *active systems*

Dielectric properties of a material governs the strength of the backscattered signal. The dielectric constant of a material describes how well electric energy can be stored in a material.

Polarisation is a radar system property. The transmitted and received signal propagates in a certain plane: Polarisation. Propagation planes are usually H (horizontal) and V (vertical)

Radar (SAR) systems have a sidelooking geometry as opposed to the central perspective view of an optical system

Consequences of side-looking geometry: Image distortion in range direction, even for flat terrain Imaging effects such as shadow, layover, foreshortening occur Geocoding: local image distortion for non-flat terrain, need for DEM Consequences for Radar backscatter quantities.

TerraSAR-X sun-synchronous repeat orbit

Velocity	7.5 km ground speed
Orbits per day	15 2/11
Repeat period	11 days
Revisit Time (doublesided view)	2.5 days in 95 % и 4.5 days in 100%
Inclination	97.44 ⁰
Equatorial crossing time (local)	18:00 +/-0.35, ascending 06:00 +/-0.35, descending
Altitude at the equator	514.8 km
Altitude variation	505 -533 km

TerraSAR-X Basic products are available in 4 levels of processing:

SSC – Single look Slant range Complex

MGD – Multilook Ground Range Detected

GEC – Geocoded Ellipsoid Corrected

EEC – Enhanced Ellipsoid Corrected

TerraSAR-X imaging modes

Imaging mode	Max. Resolution Achievable (Single Pol.)	Standard Scene Size (range x azimuth) [km]	Polarization	Full performance range
1	2	3	4	5
High Resolution SpotLight HS	1 m	10 x5 km	Single (VV или HH) Dual (HH и VV)	20° - 55°
SpotLight SL	2 m	10 x10 km	Single (VV или HH) Dual (HH и VV)	20° - 55°
StripMap SM	3 m	15 x 50 km – (single pol. data) 30 x 50 km – (dual pol. data)	Single (VV или HH) Dual (HH и VV)	20° - 45°
ScanSAR SC	16 m	100 x150 km	Single (VV или HH)	20° - 45°

INSAR Interferometry

Interferometric measurement techniques: use image pairs that have been acquired from slightly different sensor positions. Makes use of runtime differences. Need SSC data to be able to exploit intensity and phase. The baseline between the two images and the quality of the interferometric phase are decisive for the accuracy of the resulting DSM. Makes use of runtime differences. Need SSC data to be able to exploit intensity and phase. The baseline between the two images and the quality of

the interferometric phase are decisive for the accuracy of the resulting DSM. INSAR Interferometry is used for many applications: Extraction of elevation information, changes detection, surface displacement measurements, vegetation monitoring, subsidence (due to construction or extraction of oil, gas, or water), monitoring of unstable slopes, surface deformation monitoring. Single pass InSAR will be with TanDEM-X mission starting (TerraSAR-X-2 will be launched at 2009) With TanDEM-X across-track interferometry applications will be available in single-pass. World-wide coverage of high accuracy DEM will be within 2.5 years. Estimated DEM (DSM) characteristics are 12 m posting, and <2 m height accuracy

С 19 по 22 ноября в городе Констанц, Германия состоялась первая Европейская конференция партнеров – дистрибьюторов TerraSAR-X Services.



Рис. 1. TerraSar Services

Организатором выступила компания Infoterra GmbH. Эта немецкая компания уполномочена заниматься коммерческой эксплуатацией спутника TerraSAR-X, подготовкой геоинформационных продуктов, сервиса и развитием дистрибьюторской сети. Компания Гео-Альянс приняла участие в Конференции в качестве российского партнера (Partner Key Account) глобальной дистрибьюторской сети TerraSAR-X Services.

В ходе встречи были заслушаны доклады по основным организационным, техническим, финансовым и правовым вопросам, касающихся предоставления сервиса на основе высокоточных радарных данных TerraSAR-X. Наиболее важные из них будут раскрыты в этой статье:

На сегодняшний день существуют два основных способа получения информации с земли: Оптические системы используют солнечный свет и поэтому считаются пассивными системами. Радарные (RADio Detecting And Ranging) системы используют собственный источник излучения и поэтому называются активными системами.

Выявление объектов (целей) происходит путем передачи электромагнитных волн и получения волн, отраженных этими объектами.

Расстояние до цели (range) определяется по времени прохождения волной до объекта и обратно.

Радарные (SAR) системы «видят» сквозь облачность и ночью. Это позволяет например осуществлять постоянный мониторинг ледовой обстановки в период полярной ночи.

Значение «серого» в пикселе зависит от 3 факторов: SAR системы, SAR обработки и объекта. Объект в свою очередь может классифицироваться по геометрии, диэлектрическим свойствам и движению/скоростью. На уровень

«серого» не влияет освещение, химический состав (за исключением соли и льда) и температура (только замерзший/незамерзший)

На рис. 2 показан механизм отражения падающей волны от различных объектов.

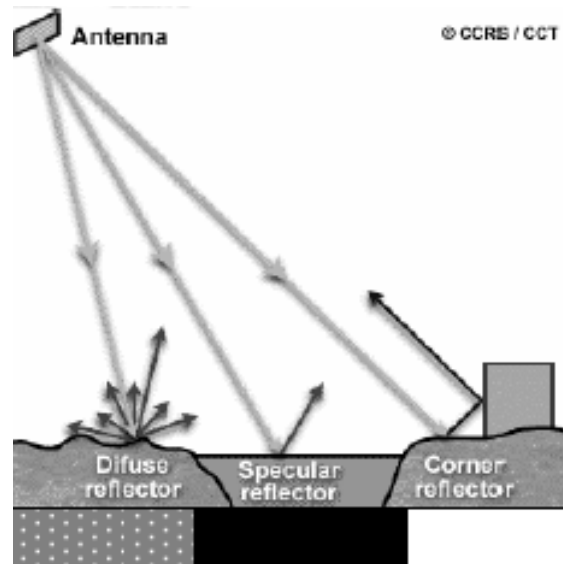


Рис. 2. Механизм отражения падающей волны от различных объектов

Рассеянное отражение (Diffuse reflection) от объемных.массовых объектов (таких как растительность соответствует среднему уровню «серого» и текстуры.

Зеркальное отражение (Specular reflection) от поверхностей (таких как спокойная водная поверхность) – темный уровень

Угловое отражение (Corner reflection) от таких объектов, как здания – яркий уровень.

На рис. 3 отображены поверхности, от которых рассеиваются падающие волны, в зависимости от частоты. Для спутника TerraSAR-X рассеивание происходит от поверхности, не от земли.

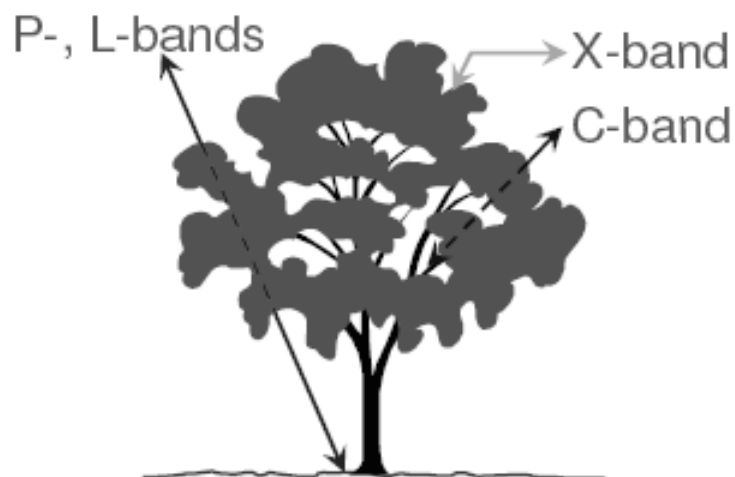


Рис. 3. Рассеивание падающих волн, в зависимости от частоты

Диэлектрические свойства материала влияют на силу возвращаемого отраженного сигнала. Диэлектрический коэффициент материала описывает, насколько хорошо электрическая энергия может поглощена материалом. Это зависит от используемой частоты. Разные значения для различных материалов показывают возможность их выявления при помощи SAR табл. 3.

Таблица 3

Материал	Диэлектрический коэффициент
Соль	3–15
Металл (окись железа)	14
Бетон	4.5
Скальные породы	5
Вода	88/80/55 при 0/2/100 °C

Важным физическим параметром радарной съемки является поляризация. Поляризация это передаваемый и получаемый сигнал, распространяющийся в определенной плоскости. Поляризация – свойство присущее радарным системам (рис. 4).

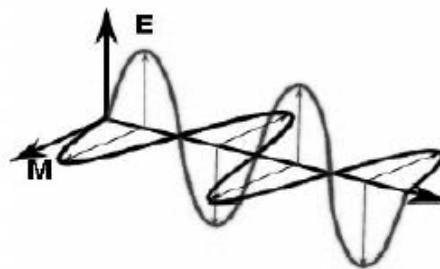


Рис. 4 – Поляризация

Поляризационные плоскости обычно бывают горизонтальные Н и вертикальные V (рис. 5).

НН и VV – одинаковые поляризации или совместные поляризации.

NV and VH – перекрестные или непарные поляризации.



Рис. 5. НН и VV поляризации

Вертикально-поляризованная волна будет взаимодействовать с вертикальными стеблями слоя растений.

Горизонтально-поляризованная волна будет проникать сквозь слой растений.

Комбинирование разных поляризаций может улучшать различные классификации, например – определение различных классов растительности. Очень важно правильно выбирать вид поляризации в каждом отдельном проекте, чтобы улучшить требуемые характеристики результирующего продукта.

В SAR системах применяется геометрия боковой съемки, в отличие от съемки центральной проекции оптических систем. Для спутника TerraSAR-X как правило применяется правая боковая съемка. Сммотри рис. 6.

В результате обработки сырых данных, активно переданный сигнал преобразуется в пиксели. Азимутальное и боковое (наклонное) разрешение имеют различные концепции.

В боковом range диапазоне съемки сигналы определяют географическое местоположение в соответствии с измеряемой разностью времени прохождения сигнала. Поэтому последовательность получения пикселей может быть нарушена в районах с сильно-выраженным рельефом или внутри городов. Боковое разрешение зависит только от ширины частотного диапазона и (150 and 300 MHz) и угла падения (Ground range). Пространственное разрешение становится лучше с увеличением угла падения.

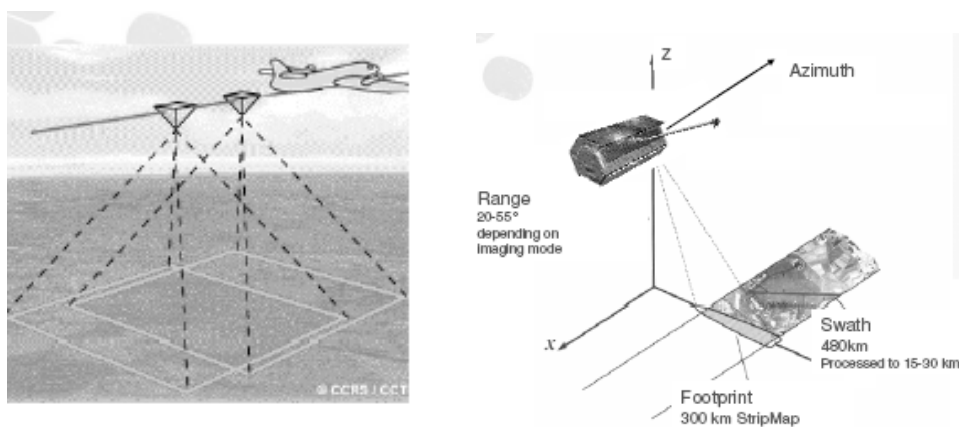


Рис. 6. Правая боковая съёмка спутника TerraSAR-X

При азимутальной съемке сигналы с одинаковым временем расположены в правильном азимутальном положении в соответствии с их Доплеровским сдвигом частоты. Пространственное разрешение улучшается действием апертуры. Азимутальное разрешение постоянно вдоль маршрута.

Азимутальное разрешение зависит только от следующих факторов: режима съемки, размера антенны и частоты повторения импульсов.

Набор данных одиночной наклонной съемки (Single Look Slant Range Complex) дает более высокое разрешение.

Во всех остальных Базовых продуктах (Multilook Ground Range Detected, Geocoded Ellipsoid Corrected, Enhanced Ellipsoid Corrected) применяются от 1 до

7 сигналов в зависимости от угла падения. Заказчик может повлиять на определение количества сигналов. Для проектов, в которых приоритетно улучшение пространственного разрешения SE используют минимум сигналов. Для радиометрического улучшения требуется большое количество сигналов, при этом уменьшается пространственное разрешение.

Технические характеристики спутника TerraSAR-X-1

Основные технические характеристики солнечно-синхронной, повторяющейся орбиты спутника TerraSAR-X-1 приведены в табл. 2.

При помощи электронного управления сигналом осуществляется быстрое переключение режимов съемки и быстрое наведение на новые цели.

Минимальная дистанция между 2-мя кадрами для режимов: SpotLight; StripMap; и ScanSAR составляет 18–30 км, 7 км и 7 км соответственно. Доступны опции мульти-поляризации и левой/правой боковой съемки. Разворот спутника для двухсторонней съемки осуществляется меньше чем за 5 минут. Прием полученных данных на Земле может происходить в режиме реального времени.

Таблица 2

Первая космическая скорость	7.5 км/с
Количество орбит в день	15 2/11
Повторение пролета	11 дней
Время повторной съемки (с двух сторон)	2.5 дня в 95 % и 4.5 дня в 100 %
Наклонение	97.44°
Местное время пересечения экватора	18:00 +/-0.35, восходящий маршрут 06:00 +/-0.35, нисходящий маршрут
Высота орбиты над экватором	514.8 км
Изменение высоты орбиты	505 -533 км

Съемка выполняется 3-мя способами: SpotLight; StripMap; и ScanSAR. На рис. 7 показаны схемы работы спутника в этих режимах.

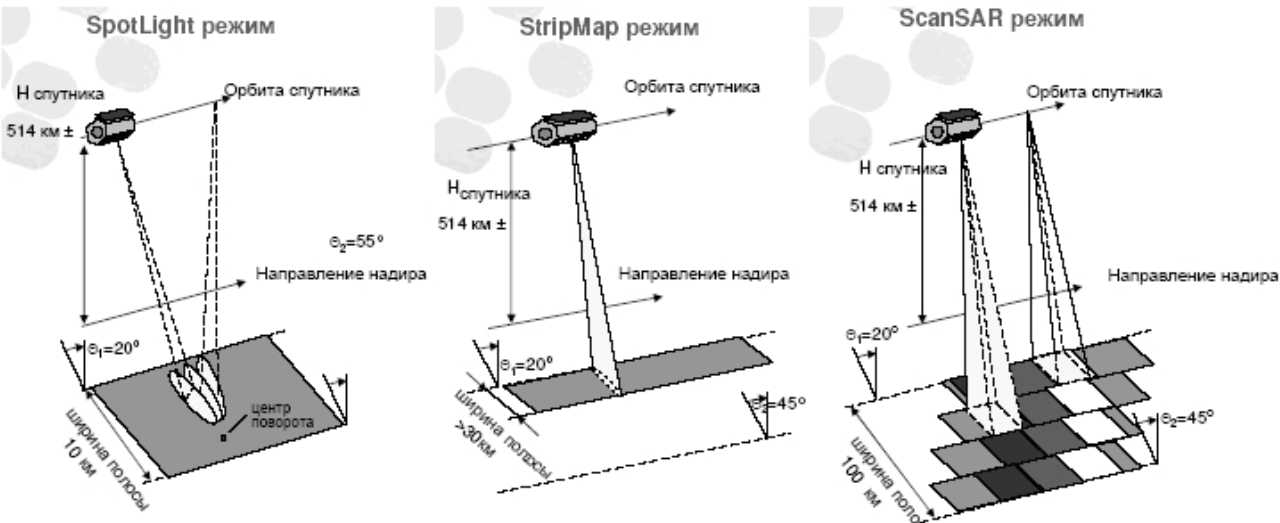


Рис. 7. Режимы съёмок спутника TerraSAR-X

Характеристики способов съемки указаны в табл. 3.

Таблица 3

Способ съемки	Макс. достигаемое разрешение (Простая поляризация)	Стандартный размер сцены (км)	Поляризация	Полный диапазон съемки
High Resolution SpotLight HS	1 м	10 x 5 км	Простая (VV или HH) Двойная (HH и VV)	20° - 55°
SpotLight SL	2 м	10 x 10 км	Простая (VV или HH) Двойная (HH и VV)	20° - 55°
StripMap SM	3 м	15 x 50 км – двойная поляризация 30 x 50 км – простая поляризация	Простая (VV или HH) Двойная (HH и VV, HH и HV, или VV и VH)	20° - 45°
ScanSAR SC	16 м	100 x 150 км	Простая (VV или HH)	20° - 45°

Продукция спутника TerraSAR-X-1 предлагается в 4 основных уровнях обработки.

Набор данных одиночной наклонной съемки (SSC – Single Look Slant Range Complex) – SSC предназначен для приложений, в которых нужна информация о фазе и ширине полосы частот, например радарная интерферометрия и интерференционная поляриметрия.

- Равноудаленный пиксельный интервал в азимутальном и наклонном диапазонах съемки.
- Данные представлены как совокупность чисел.
- Каждый пиксель изображения переведен в нулевые Доплеровские координаты, т. е. перпендикулярен к маршруту полета спутника.
- Не геопривязан.
- Представлена полная информация о фазе и ширине полосы частот.

Multilook Ground Range Detected (MGD) – стандартная продукция Уровня 1B.

Координаты изображения вычислены вдоль направления полета и вдоль угла падения. Съемка осуществляется по нескольким сигналам (Multilook detected). Изображение приводится к проекции на WGS84 эллипсоиде и средней постоянной высотой рельефа. Результирующее изображение не геопривязано и нет коррекции за влияние рельефа. MGD – это продукция с уменьшенной зернистостью и приблизительно-квадратными ячейками разрешения. Шаг пикселя равноотстоит по азимуту и углу падения. Преимущество этого

продукта состоит в том, что разворот изображения в картографическую координатную систему не выполнен и поэтому нет интерполяционных артефактов. В результате точность местоположения пикселя хуже, чем в геопривязанной продукции. Прилагаются только координаты углов и центра изображения. Соответствует продукции ERS/PRI or ENVISAT/ASA_IMP_1P.

Geocoded Ellipsoid Corrected (GEC) геопривязанная, скорректированная на эллипсоид, стандартная продукция Уровня 1B. Второй по точности уровень геометрической коррекции, полученный по нескольким сигналам. Работа с GEC продукцией затруднена в районах с горным рельефом. Изображение приведено к геометрической проекции (re-sampling на эллипсоид WGS84 с присвоением одной средней высоты рельефа). Нет коррекции за влияние рельефа. Стандартные проекции: UTM и UPS. Точность местоположения пикселя зависит от рельефа.

Существенные различия в точности могут появляться в особенности для сильно выраженного рельефа с крутыми склонами.

GEC соответствует продукциям ERS/GEC или ENVISAT/ASA_IMG_1P.

Enhanced Ellipsoid Corrected (EEC) улучшенная геопривязанная, скорректированная на эллипсоид, стандартная продукция Уровня 1B. EEC приводится к картографической проекции на эллипсоид WGS84 с использованием Цифровых Моделей Рельефа. Среди них такие глобальные ЦМР как: SRTM/X-SAR 30 метровая, SRTM/C-band 100 метровая, GLOBE 1 км и региональная DTED-1/2 100 метровая. Выходное изображение получается ортоисправленным. Точность местоположения пикселя может достигать метрового уровня но зависит от качества ЦМР. Соответствует продукции ERS/GTC или ENVISAT / DLR.

Среди предлагаемых продуктов с добавленной стоимостью (VAP), отдельный интерес

Может представлять слияние восходящих и нисходящих сцен. Радарные тени обычно видимы в SAR изображениях и не всегда являются полезным атрибутом. Комбинация восходящих и нисходящих сцен на ту же территорию снижает эффекты наложения (перекрытия) и радарных теней в результирующем изображении.

Лесное хозяйство, эффективное управление ресурсами, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур, своевременное предоставление продовольственной помощи, выявление загрязнений, планирование развития территорий, топографическое и тематическое картографирование, понимание изменений климата и его влияние на окружающую среду, океанские и речные течения, качество воды, эрозионные процессы, риски наводнений, оценка ущерба при ЧС, рыболовство, постоянный мониторинг арктических территорий, нефтегазовых месторождений, контроль ледовой обстановки, определение местоположений судов – традиционные направления, в которых эффективно используются SAR технологии.

Интерферометрические измерения в радарных технологиях позволяют решать различные задачи для множества базовых и новых приложений, таких

как получение высокоточных ЦМР, выявление перемещений объектов, мониторинг приграничных территорий, нестабильных склонов, отслеживание изменений на объекте, подвижки земной поверхности, проседание почвы при добыче нефти газа и др.

Интерферометрические измерения проводятся с использованием пар снимков на одну и ту же территорию, полученных с немного различных положений сенсора.

Сейчас для получения таких снимков используется 11-дневный повторный цикл TerraSAR-X-1, когда спутник оказывается на той же орбите. Необходимы SSC данные, чтобы была возможность работать с интенсивностью и фазой. Базис между 2-мя изображениями и качества интерферометрической фазы являются определяющими для точности результирующей Цифровой Модели Местности (ЦММ). Извлекаемая ЦММ, включающая поверхность растительности – это не Цифровая Модель Рельефа.

Интерферометрические (INSAR) технологии могут использоваться только в случаях хорошей связи/схожести между 2-мя изображениями (например пустыни, скалистая местность). INSAR технологии с 11 дневным циклом не применимы для тропического климата. Период – слишком длинный и связей / схожести не достаточно для работы с интерферометрией.

Намного легче будет получать INSAR после появления TanDEM-X (рис. 8).

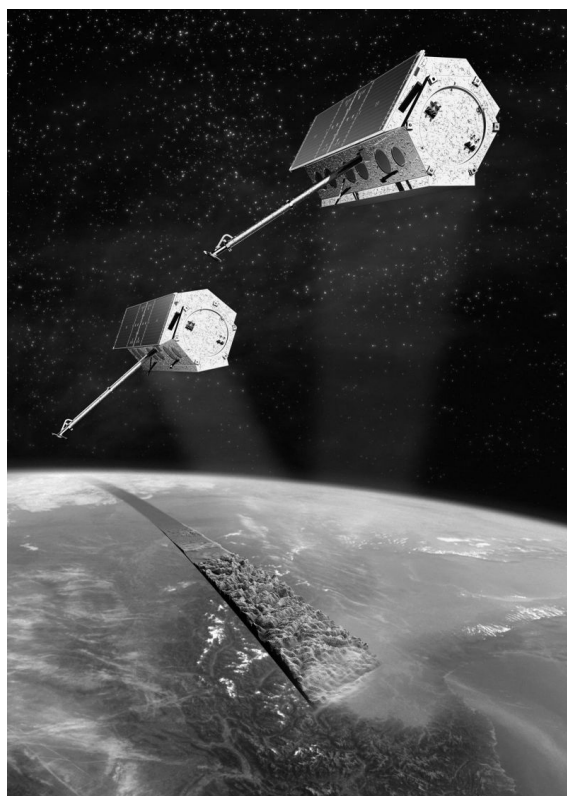


Рис. 8. TanDEM-X

Участники конференции увидели этот аналог спутника TSX-1 в сборочном цеху Спутникового Интеграционного Центра концерна EADS.

Запуск планируется на конец 2009 года. Интерферометрические измерения будут проводиться по одиночному прохождению. А совместная работа 2-х спутников (TanDEM-X миссия) за 3 года позволит обеспечить глобальное покрытие Земли высокоточной Цифровой Моделью Рельефа с расчетной точностью по высоте менее 2 метров.

Приобрести продукцию TerraSAR-X и программное обеспечение для работы Вы можете в нашей компании. Специалисты компании Гео-Альянс, в качестве российского партнера дистрибьюторской сети TerraSAR-X Services готовы ответить на любые вопросы связанные с продукцией со спутника TerraSAR-X. У нас вы можете получить необходимую консультацию при выборе технических параметров съемки, способах ее проведения и необходимого уровня обработки. В качестве инструментария для эффективной работы с радарными снимками мы предлагаем программные решения Geomatica 10.1. Весь комплекс задач возникающих при работе с SAR данными может быть решен при помощи модулей – SAR Polarimetry Workstation, Radar DEM Extraction, Radar и ПО EarthView® InSAR.

Организуются местные и выездные курсы по обучению работе с продукцией TerraSAR-X Services.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Техническая документация и руководства пользователя по спутнику TerraSar-X [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.infoterra.de>.

© М.Ю. Александров, 2008

УДК 528.4

О.Г. Новгородцева

ИВЭП СО РАН, Барнаул

МОНИТОРИНГ ПАВОДКОВОЙ СИТУАЦИИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И СОСТАВЛЕНИЕ КАРТЫ ПАВОДКОВОЙ ОБСТАНОВКИ В БАССЕЙНЕ Р. ОБЬ

O.G. Novgorodtseva

IWER SB RAS, Barnaul

656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

FLOOD MONITORING WITH THE USE OF REMOTE SENSING DATA AND MAPPING OF FLOOD SITUATION IN THE OB RIVER BASIN

In connection with risk of high floods in the Ob river basin that cause significant economic damage, water rise monitoring carried out with the use of remote sensing is of great importance for prevention of emergency situations. Space images give clear visibility of the river's channel and valley that makes it possible to map floods based solely on the deciphering data. The paper presents the approaches for processing remote sensing data and mapping the flood situation in the Ob river basin. The stages of mapping are also discussed.

The flood maps are informative enough to serve as one of the main sources of information for the regional services of the Ministry for Emergency Situations.

В бассейне р. Обь уровень воды в период весеннего половодья часто превышает расчетный уровень критических отметок подъема воды, что ведет к затоплению не только полей и садовых участков, но и населенных пунктов. В связи с этим существует необходимость космического мониторинга поднятия уровня воды с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС) службой МЧС, куда в первую очередь и отправляется информация о местах затопления и результаты картографирования паводковой обстановки.

Мониторинг должен опираться на ежедневные оперативные наблюдения за состоянием воды в русле и пойме р. Обь. Русло реки и его комплексы слишком велики, чтобы при наземном изучении находиться в едином поле зрения наблюдателя, и не могут изучаться сразу по всей площади распространения потенциальной зоны затопления. Большая обзорность и выраженность русла и долины реки в фотоизображении делают реальным картирование выходов воды из берегов рек, основанное лишь на объективных данных дешифрирования. Космические снимки (КС) не заменяют ни крупномасштабных аэроснимков, ни, тем более, наземных наблюдений. Использование КС в определении разлива реки, во-первых, позволяет при помощи современных ГИС-технологий

картографировать паводковую обстановку интересующих участков рек. Во-вторых, легко можно количественно оценить площади затопления.

В мониторинге паводковой ситуации используется широкий спектр данных дистанционного зондирования (ДДЗ), которые также являются очень важным источником информации при составлении карт паводковой обстановки наряду с крупномасштабными топографическими и тематическими картами. На схеме (смотрите рис. 1) представлен алгоритм технологии обработки многоспектральных данных датчика MODIS, разработанный к.т.н. В.В. Голомолзиным. Данная технология обработки предназначена для целей оперативного мониторинга ледовой и паводковой обстановки.

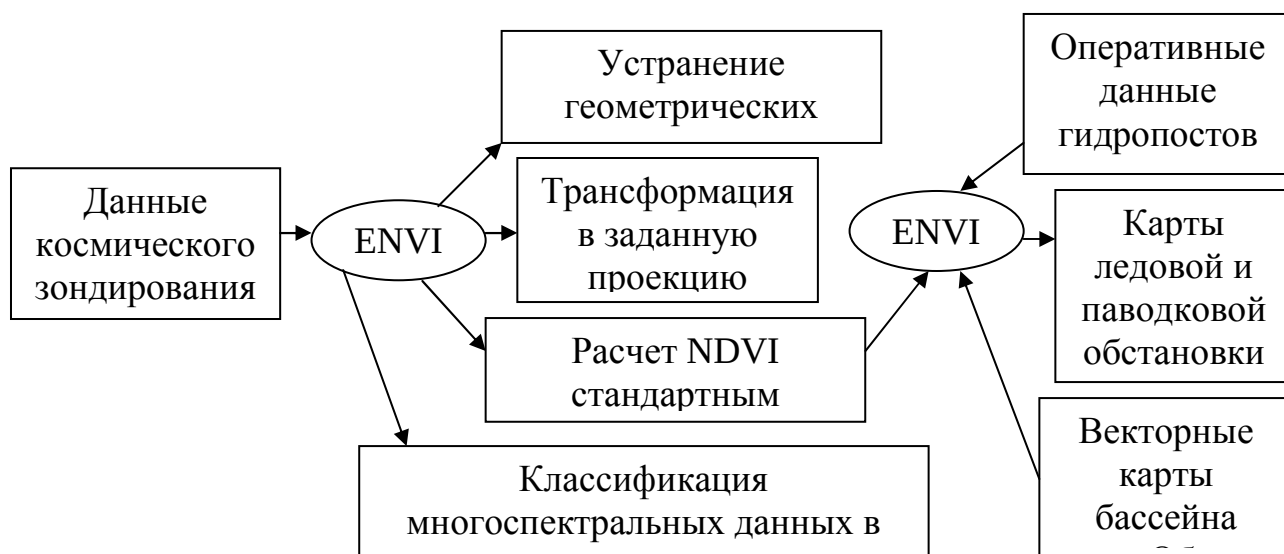


Рис. 1. Принципиальная схема технологии обработки ДДЗ

Для мониторинга паводковой обстановки используются различные характеристики параметров пространственного разрешения и спектральных диапазонов (табл. 1).

Таблица 1. Каналы датчика MODIS для оценки паводковой обстановки

№ канала	Пространственное разрешение, м	Спектральные диапазоны, мкм	Полоса обзора, км
1	250	0.620 – 0.670	2 330
2	250	0.841 – 0.876	
20	1 000	3.660 – 3.840	
31	1 000	10.780 – 11.280	

Каналы 1 и 2 позволяют выделить все элементы местности, содержащие воду в жидкой фазе, проводить селекцию по яркости объектов и рассчитывать стандартный индекс NDVI.

20 и 31 каналы позволяют рассчитывать радиационную температуру. При этом по данным 31 канала можно получить собственную температуру объектов, а в температуру, полученную по данным 20 канала, вносят свой вклад, как

собственная температура, так и отраженное солнечное излучение. Поэтому яркие объекты с высоким коэффициентом отражения в диапазоне 3.929–3.989 мкм будут иметь более высокую радиационную температуру в 20-м канале, чем в 31-м. К таким объектам относятся, например, облака.

Оперативный мониторинг определения паводковой обстановки в бассейне р. Обь ведется с помощью спутника Terra/MODIS космической системы EOS. В связи с тем, что этот спутник является оптическим, то такой мониторинг ограничен световым днем и требует хороших погодных условий. В качестве информации используются данные формата PDS.

Далее цифровые данные формата PDS проходят калибровку. Затем, используя модули ГИС-пакета ENVI 4.3, трансформируются в картографическую проекцию Меркатора, здесь же дополнительно рассчитывается нормализованный вегетационный индекс (NDVI), после чего запускается окончательный расчет в модуле классификации. Полученная классификация многоспектральных данных позволяет выделить на реках, озерах и водохранилищах: лед, заснеженный лед, разрушенный лед, воду, землю, мокрую траву, облака. Результаты классификации в виде shp-файлов экспортируются в ArcGIS 9.2, где совмещаются с картографической основой.

В качестве картографической основы для отображения паводковой обстановки принимают цифровые карты масштаба 1 : 100 000. Такие карты выполнены с использованием ГИС ArcView 3.2a по данным снимков американского спутника Landsat. Карты составлены с учетом основных требований создания цифровых карт, а именно:

1. Пространственная локализация объектов. Согласно этому требованию линейные объекты оцифровывались по оси симметрии, площадные по контуру объекта, а точечные – по центру объекта.

2. Пространственная информация включает в себя геометрическую информацию (размеры, форма объектов и т. д.) и топологическую (взаимное расположение объектов).

3. Непространственная информация описывает семантические свойства объектов.

Карты паводковой обстановки являются тематическими картами, содержащими информацию одного явления – стадии таяния льда и отображают границы выхода воды на поймы, в том числе и малых рек – притоков Оби. Из этого следует, что shp-файлы результатов классификации будут являться тематическим наполнением карты, а элементами общегеографической основы таких карт будут являться гидрография, пути сообщения, населенные пункты, рельеф, растительность и грунты. Все элементы тематического содержания карты представлены площадными объектами, а общегеографическая основа карты выполнена следующим образом: к линейным объектам относятся гидрография в виде рек, каналов и рельеф в виде горизонталей; точечными объектами на карте отображены отметки высот и местоположение гидропостов; площадными объектами представлена гидрография в виде озер и водохранилищ, населенные пункты, растительность и грунты.

Места заторов льда, стадии таяния льда и территории подтопления легко установить по цвету shp-файлов результатов классификации, они кардинально отличаются от цветов общегеографической основы карты, а также подробно описаны в легенде карты.

Карты паводковой обстановки, несмотря на то, что создаются для оперативных целей, как и любые другие карты, имеют легенду, рамку и элементы зарамочного оформления, где есть градусная и километровая сетки, в нижней части карты расположены выходные данные, а именно: название карты с упоминанием территории затопления, линейный масштаб, название спутника и датчика, данные которого были взяты для определения паводковой обстановки бассейна р. Обь, а также название проекции.

Карты паводковой обстановки с такой тематической и общегеографической нагрузкой являются в достаточной степени информативными и служат основным источником данных ДЗ для служб МЧС о территориях затопления. Главное достоинство таких карт заключается в том, что они создаются практически ежедневно в реальном времени и делают возможным мониторинг паводковой ситуации бассейна реки Обь одновременно в нескольких административно-территориальных единицах Сибири.

© О.Г. Новгородцева, 2008

УДК 550.24

В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, Е.В. Бойко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ПОСТСЕЙСМИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА ПО GPS ДАННЫМ

V.Yu. Timofeyev, D.G. Ardyukov, Ye.V. Boyko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS

3 Ak. Koptyuga Pr., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

TECTONIC AND POSTSEISMIC MOVEMENTS OF THE ALTAI-SAYAN REGION ACCORDING TO GPS DATA

Forces connected with India-Eurasia collision generate present-days earth crust deformation of central Asia. At north in central Asia (south of Siberia) these forces connected with collision between earth crust blocks and Siberia's platforms. For precise estimation of current plate's velocities the analysis of modern Eurasia plate model was realized and 2 mm distinction from NNR-Nuvel-1a and APKIM2000 models was found. Model AR-IR2006 was developed used by results of permanent GPS station situated on un-deformed part of North Asia (from Ural to Baikal). At last tens for south part of Gornii Altay modern tectonic process was united with effects of Chuia earthquake (27.09.2003, $M = 7.5$). GPS geodesy results allow separate pre-seismic period (2000-2003), co-seismic period (2003-2004) and post-seismic displacement period (2004-2007). Present-days tectonic velocity map for Gornii Altay (2000-2006) without Chuia earthquake zone showed the north-west displacement with 2 mm/y velocity.

Современное деформирование земной коры центральной Азии определяется силами, вызванными коллизией Индийской и Евразийской тектонических плит и столкновением блоков земной коры на севере с массивными платформами Сибири. Для Горного Алтая в особенности его южной части на этот процесс в последнее десятилетие накладываются явления, связанные с Чуйским землетрясением (27.09.2003, $M = 7.5$). Результаты измерений методами космической геодезии позволяют разделить этапы подготовки землетрясения (2000-2003), косейсмических (2003-2004) и постсейсмических смещений (2004-2007). Для более точной оценки величин современных смещений был проведен анализ существующих моделей плитного движения Евразии. Выбор модели необходим для более точного исключения плитного движения из геоцентрического решения для отдельных пунктов. Учитывая это при анализе данных по югу Сибири, нам пришлось внимательно рассмотреть модельные оценки и экспериментальные данные по постоянным станциям севера Азии. При этом мы старались не опираться на данные станций,

расположенных в зоне вечной мерзлоты. Фактически рассматривались экспериментальные результаты мировой IGS сети для станций ARTU (Средний Урал), NVSK (Новосибирск), KSTU (Красноярск) и IRKT (Иркутск). Станции расположены в полосе широт 52–56 градусов в тектонически стабильной части Евразийской плиты. Данные по этим станциям показали систематические отклонения (в 2 мм) от оценок по модели NNR-Nuvel-1a (+2 мм по обоим компонентам) и модели APKIM2000 (-2 мм по обоим компонентам). Используя известные соотношения для определения скоростей горизонтальных смещений отдельного пункта на сфере с координатами φ и λ через модельные параметры; координаты полюса (Φ , Λ) и скорости вращения тектонической плиты (ω), составив систему уравнений можно получить параметры полюса вращения. Опираясь на экспериментальные результаты перечисленных выше четырех континентальных станций юга Сибири (ARTU, NVSK, KSTU, IRKT) и известные соотношения, была построена модель AR-IR-2006 ($\Phi = 51.045^\circ\text{N}$, $\Lambda = 255.842^\circ\text{E}$, $\omega = 0.2423$ градус/млн. лет) [Тимофеев и др., 2008], относительно которой вычислялись аномальные смещения эпицентральной части Чуйского землетрясения.

Моделирование процесса постсейсмического деформирования земной коры Горного Алтая проводилось на примере Чуйского землетрясения 27.09.2003 года, $M = 7.5$. Параметры, использованные при моделировании, определены по экспериментальным результатам, полученным после обработки ежегодных измерений по технологии космической геодезии (GPS-метод) с привлечением материалов сейсмологических и геоморфологических исследований. Выделим важные характеристики Чуйского землетрясения: правосторонний горизонтальный сдвиг при минимальных вертикальных смещениях (получено из сейсмологических, геоморфологических и геодезических данных – С, Г, Гд), протяженность разрыва 80–150 км, простирается в азимуте 130 градусов (С, Г, Гд), плоскость разрыва вертикальная (С), смещение по разрыву 2 метра (С, Г, Гд), глубина разрыва до 16 км (С, Гд), снятое сдвиговое напряжение 4 МПа (пересчет данных космической геодезии с использованием 2D упругой модели вертикального разрыва) [Гольдин и др., 2005]. Глубинное строение Алтае-Саяской области изучено крайне слабо, что естественно ограничивает возможности моделирования современных процессов. Согласно гравиметрическим данным 60-х годов прошлого века по профилям Бийск-Абакан, Усть-Кан-Чулышман, Калгуты-Джулу-Куль и Тархата-Узун-Оюн мощность коры составила от 40 до 50 км с нарастанием мощности с севера на юг Горного Алтая, также выделены субвертикальные разломы, ограничивающие межгорные впадины, в частности Чуйскую долину. Впадины заполнены осадками. Проведение исследований методом магнитотеллурических зондирований (МТЗ) в 2004 году показало наличие «вязкого» слоя на глубине 20 км в южной части Горного Алтая. Измерения методом GPS в 2004–2007 гг. позволили приступить к определению величины постсейсмических смещений, что в свою очередь потребовало уточнить модели современного плитного вращения Евразии и выделить тектоническую составляющую в смещениях Горного Алтая.

На рис. 2 показано геоцентрическое решение для станции Акташ (АКТА), скорость смещение пункта по модели AR-IR2006: -3.50 мм/год и $+26.20$ мм/год.

Для определения современных скоростей тектонических смещений Горного Алтая проведен анализ данных за 2000-2006 гг. по геодинимической сети за исключением станций в эпицентральной части (юго-восток Горного Алтая), полученная картина показала горизонтальное смещение на северо-запад (рис. 3). Для вертикальных скоростей значения близки к нулю, учитывая ошибку. Например, для пунктов на станции Усть-Кан: (USTK, 2000-2006) -0.79 ± 1.31 мм/год; (UST2, 2004-2006) $+0.48 \pm 3.45$ мм/год.



Рис. 1. Скорости смещений в эпицентральной зоне (2004-2006 гг.)

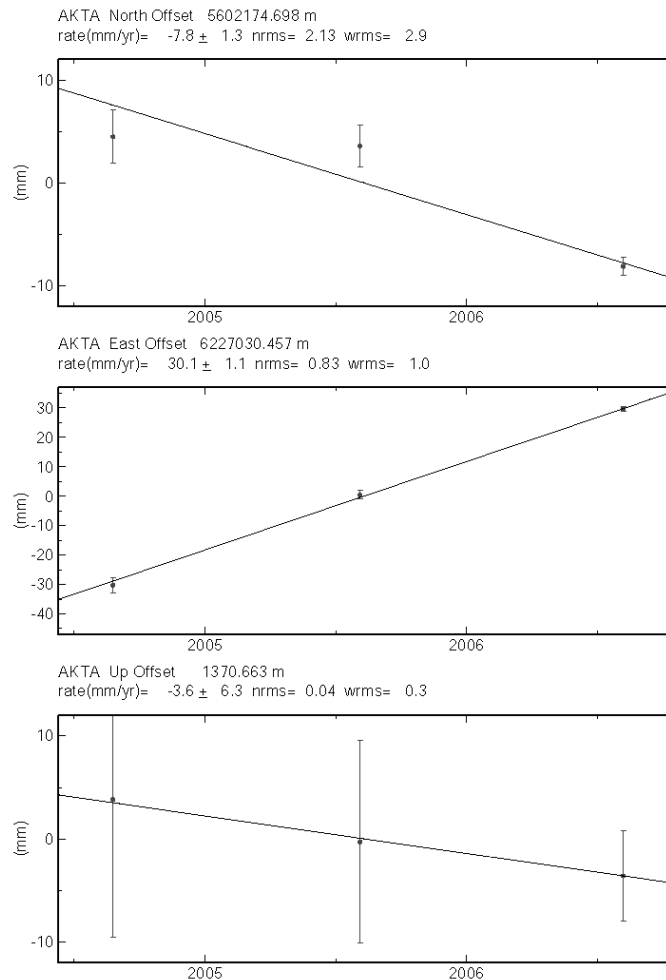


Рис. 2. Смещение пункта Акташ в мм в геоцентрической системе координат с ошибками. Сверху вниз: смещение на север, смещение на восток и вверх. Эпоха 2004-2005-2006 гг.

Теперь исключив из смещений эпицентральной части тектоническую составляющую, определяем величины постсейсмических смещений и деформаций в эпицентральной части, связанные с релаксацией напряжений после землетрясения. В отличие от модели косейсмических смещений, где использована упругая полубесконечная среда с вертикальным разрывом, для постсейсмических смещений уже само наличие их приводит к необходимости рассмотрения вязко-упругих моделей. Полагая, отсутствие смещений на разрыве в эпоху после землетрясения, по данным для станций близких к разрыву вычисляем величину скорости сдвиговой деформации, в итоге она равна $1.6 \cdot 10^{-7}$ в год. Далее, используя величину снятых сдвиговых напряжений (4 МПа), вычисляем значение вязкости, в итоге получаем значение $7 \cdot 10^{20}$ Па·сек.

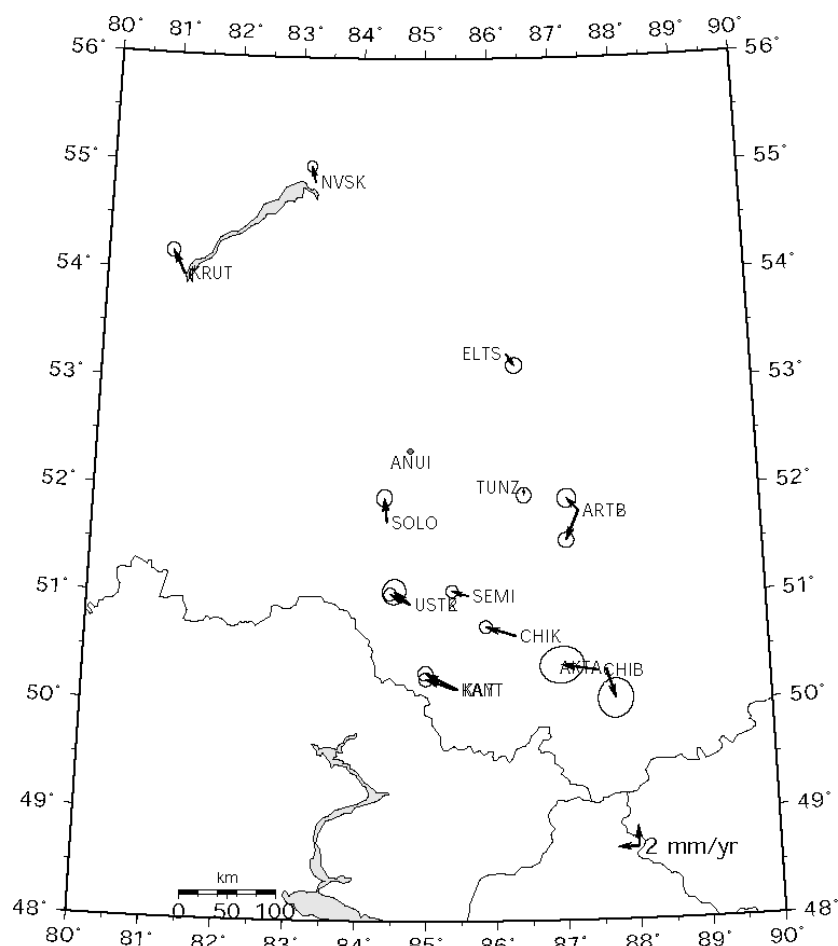


Рис. 3. Смещение пунктов Алтайской сети (2000-2006 гг.) за исключением эпицентральной зоны Чуйского землетрясения. Смещение на С-3 2 мм в год

Подобное решение для вязко-упругой литосферы с бесконечной трещиной предложено Будянским и Амазиго (1976). Так при глубине разрыва 16 км и скорости смещений 5 мм в год в рамках этой модели получаем значение вязкости среды $4 \cdot 10^{20}$ Па·сек. Полученные значения малы для верхней коры и разумней предположить двухслойную модель типа: упруго-хрупкая верхняя кора и вязкоупругая нижняя кора, с бесконечным вертикальным разрывом в верхней коре и релаксацией напряжений после землетрясения. В рамках модели Эльзассера с учётом параметра, отражающего эффективное сцепление упругого и вязкого слоёв земной коры, при большой длине волны возмущения, вязкость можно вычислить, используя значение снятого сдвигового напряжения (4 МПа), скорости смещения (5 мм в год) и мощности вязкого слоя (30 км) – для нижней коры получаем - $7.5 \cdot 10^{20}$ Па·сек. Период релаксации напряжений по Эльзассеру при модуле сдвига пород коры 30 ГПа составит около 800 лет. И, наконец, используя максвелловскую схему упруго-вязкого тела при мощности упругого слоя 20 км и вязкого слоя в 30 км можно определить коэффициент диффузии и время релаксации напряжений. При том же модуле сдвига коры получаем коэффициент диффузии около одного квадратного километра в год и время релаксации для модели Максвелла 300 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдин С.В. Поля смещений земной поверхности в зоне Чуйского землетрясения, Горный Алтай. / С.В. Гольдин, В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков / ДАН, 2005, т. 405, № 6, С. 804–809.
2. Тимофеев В.Ю. Поля и модели смещений земной поверхности Горного Алтая / В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, Э. Кале, А.Д. Дучков, Е.А. Запреева, С.А. Казанцев, Ф. Русбек, К. Брюникс / Геология и геофизика, 2006, т. 47, № 8, С. 923–937.
3. Тимофеев В.Ю. Сихоте-Алиньская сеть GPS измерений для геодинамических исследований. / В.Ю. Тимофеев, П.Ю. Горнов, Д.Г. Ардюков, Ю.Ф. Малышев, Е.В. Бойко / «Тихоокеанская геология», 2008, № 4.
4. Тимофеев В.Ю. Моделирование современных движений Евразийской плиты и её южного обрамления (Горный Алтай, Приморье) по данным космической геодезии (GPS). / В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, П.Ю. Горнов, Б.Ф. Шевченко, Р.Г. Седусов / Фундаментальные проблемы геотектоники. Материалы XL Тектонического совещания. Т. 2. Москва, ГЕОС. 2007. – С. 273–277.
5. Тимофеев В.Ю. Современные движения Алтае-Саянского региона по экспериментальным данным. / В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, Р.Г. Седусов, Е.В. Бойко / ГЕО-СИБИРЬ, Сборник материалов III Международного научного конгресса, т. 3, Новосибирск, СГГА, 2007. – С.279–284.

© В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, Е.В. Бойко, 2008

УДК 550.24

В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, А.Ю. Казанский,

Д.В. Метелкин, Е.В. Бойко, В.Ю. Брагин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск

ОБ УНАСЛЕДОВАННОСТИ ДВИЖЕНИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (GPS И ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ)

V.Yu. Timofeev, D.G. Ardyukov, A.Yu. Kazanskii,

D.V. Metelkin, E.V. Boyko, V.Yu. Bragin

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk

SIBERIAN PLATFORM ROTATION AT DIFFERENT GEOLOGICAL EPOCHS (GPS AND PALAEOMAGNETIC DATA)

We discuss the result of modern GPS measurement and palaeomagnetic study for Age of Reptiles. Comparison was developed for rotation parameters – Amurian plate relative to Siberian plate and opposite it. Position of pole was similar but modern velocity was higher.

Модели современного вращения Евразии. Внутриплитные смещения тектонических плит разумней изучать, имея максимально точную модель смещения глобальной плиты (в нашем случае Евразии). Из известных моделей вращения Евразии можно отметить геолого-геофизическую модель NNR-Nuvel-1a, модель APKIM2000 [12], построенную по GPS данным всех постоянных станций Евразии на эпоху 2000 года. Для построения модели нами рассматривались экспериментальные результаты для станций ARTU (Средний Урал), NVSK (Новосибирск), KSTU (Красноярск) и IRKT (Иркутск) на 2006 г. Рассматривались значения горизонтальных скоростей за год в геоцентрической системе координат. Станции расположены в полосе широт (52÷56 градусы северной широты) от Урала до Байкала (от 58 до 104 градусов восточной долготы) в тектонически стабильной части Евразийской плиты. Данные по этим станциям показали систематические отклонения (± 2 мм) от оценок по модели NNR-Nuvel-1a и модели APKIM2000. Как известно, для определения скоростей горизонтальных смещений отдельного пункта с координатами φ и λ используются следующие соотношения:

$$\partial\varphi/\partial t = \omega \cos(\Phi) \sin(\lambda - \Lambda)$$

$$\partial\lambda/\partial t = \omega[\sin(\Phi) - \cos(\lambda - \Lambda)\tan(\varphi) \cos(\Phi)], \quad (1)$$

где Φ , Λ , ω – координаты полюса вращения плиты и её скорость.

Составив систему уравнений и значения скоростей смещений отдельного пункта с координатами φ и λ можно получить координаты полюса и скорости вращения тектонической плиты (Φ , Λ , ω). Опираясь на результаты континентальных станций юга Сибири (ARTU, NVSK, KSTU, IRKT) была

построена модель AR-IR-2006, относительно которой вычислялись аномальные внутриплитные смещения.

Таблица 1. Параметры вращения Евразии по известным различным моделями для модели AR-IR-2006. Ошибка на уровне последней цифры после запятой

	Параметры полюса вращения		
	Широта градусы	Долгота градусы	Скорость градус/млн. лет
Модель NNR-Nuvel-1a	50.631°N	247.725°E	0.2337
Модель APKIM-2000	57.9°N	262.9°E	0.2587
Модель AR-IR-2006	51.045°N	255.842°E	0.2423

Определение параметров вращения Амурской плиты. При изучении кинематики Амурской плиты и определении положения полюса и скорости вращения будем использовать геоцентрическое решение для 6 станций Сихотэ-Алиньской сети (восточная часть плиты) [10] и известное решение для Забайкальской сети (западная часть плиты) [5]. Используем модель AR-IR-2006 получаем среднее значение (2003-2006 гг.) для станций Сихотэ-Алиньской сети: $+1.38 \pm 0.62$ мм (N), $+1.01 \pm 0.31$ мм (E), на СВ. Для контроля построим второе геоцентрическое решение через относительное (через постоянные станции Кореи SUWN и DAEJ). Используем модель AR-IR-2006 и получим среднее значение станций сети: 1.75 ± 0.32 мм (N), $+1.28 \pm 0.31$ мм (E), т. е. также на СВ. Для западной части плиты в расчёты приняты результаты по 6 станциям (1997-2004 гг.), расположенным к юго-востоку от озера Байкал. Расчёты проводились относительно станции Иркутск, расположенной на Сибирской платформе. Учитывая дискуссионность восточной границы Амурской плиты, рассматривалось решение с учетом сети забайкальских станций и только пункта ZMEY ($+1.53 \pm 0.62$ мм (N), $+1.30 \pm 0.51$ мм (E)) на Дальнем Востоке. В последнем случае в качестве восточной границы Амурской плиты принят разлом Дун-Ми системы разломов Тан-Лу. Полученные положения полюса вращения плиты оказались очень близки. Среднее значение по трём определениям: $57.6^\circ \pm 0.5^\circ$ N, $117.1^\circ \pm 0.5^\circ$ E и $0.083^\circ \pm 0.004^\circ$ в млн. лет. В пределах ошибок не обнаружено значительных различий при различных положениях восточной границы Амурской плиты.

Большой интерес представляет сравнение мгновенного полюса вращения Сибирской платформенной области относительно ее южного складчатого обрамления (в данном случае Амурской плиты) с полюсами вращения, рассчитанными по палеомагнитным данным для мезозойского интервала. Сама идея о повороте Сибирского кратона относительно его складчатого обрамления в течение мезозоя является далеко не новой. Впервые эта гипотеза была высказана П.С. Вороновым, обратившим внимание на ориентировку сдвиговых нарушений на Севере Сибири, отвечающую повороту Сибирской платформы по часовой стрелке [2]. Позднее появились новые геологические и геофизические подтверждения такого поворота.

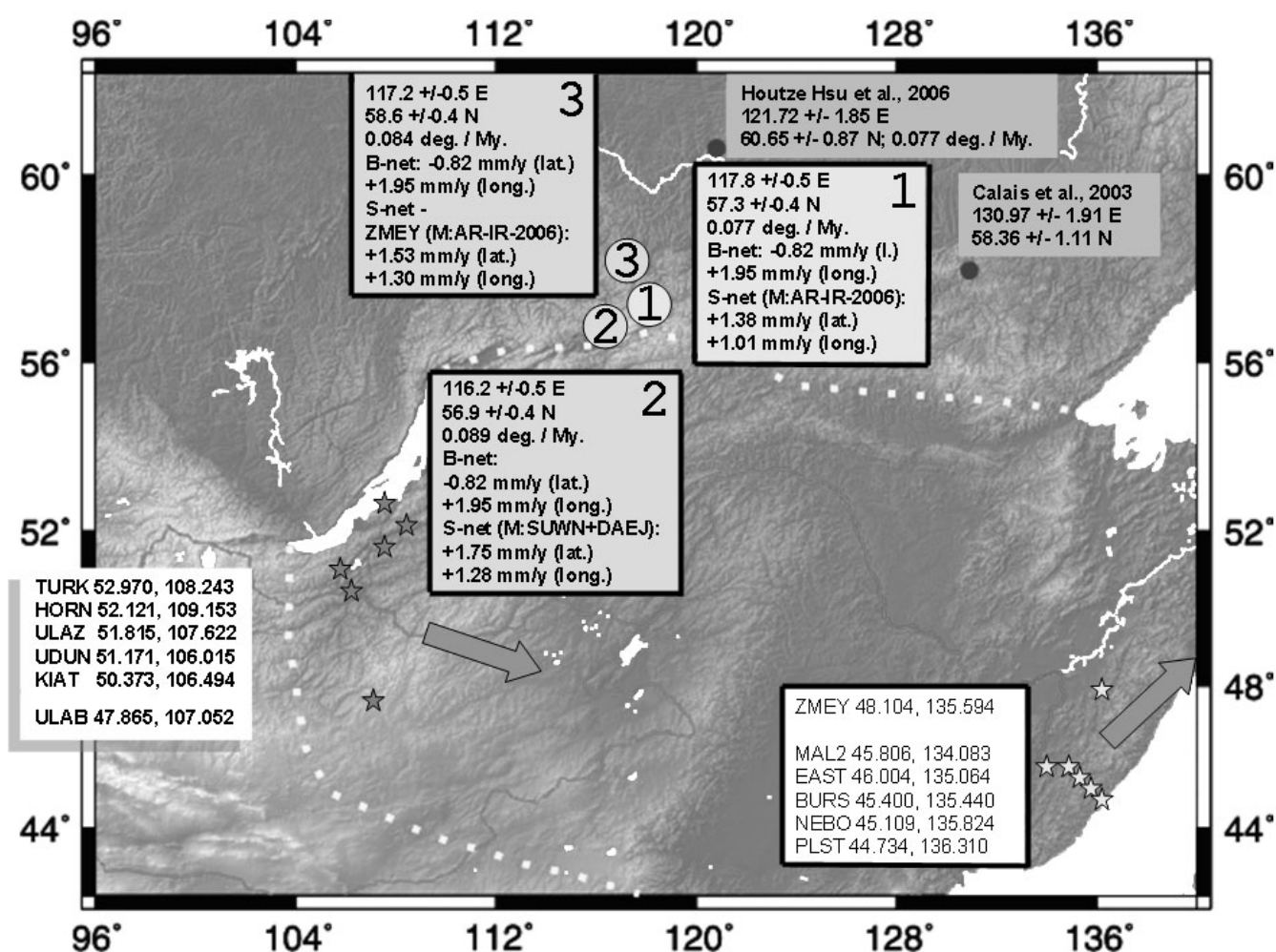


Рис. 1. Смещение Амурской плиты относительно плиты Евразия по различным определениям. Показан один из вариантов границы Амурской плиты. Положение Сихоте-Алиньской и Забайкальской сетей GPS измерений показано звёздочками. Вращение Амурской плиты против часовой стрелки

А.Н. Храмов с соавторами, на основе анализа палеомагнитных данных по позднему палеозою – раннему мезозою установил наличие дифференциальных поворотов Сибирской платформы по отношению к фрагментам ее западного и южного складчатого обрамления (рис. 2) [3, 9]. Аналогичная идея была выдвинута М.Л. Баженовым и А.А. Моссаковским [1], угол поворота Сибири относительно Европы в после раннетриасовое время ими оценивается в 10°.

Независимая оценка поворота Сибирского кристаллического массива в составе Евразийской плиты в мезозое по закономерностям изменения возраста и места проявления внутриплитного магматизма была сделана Л.П. Зоненшайном с соавторами [4]. При этом полюс вращения в их модели находится внутри платформы, а поворот вокруг этого полюса составил 75° по часовой стрелке (рис. 2).

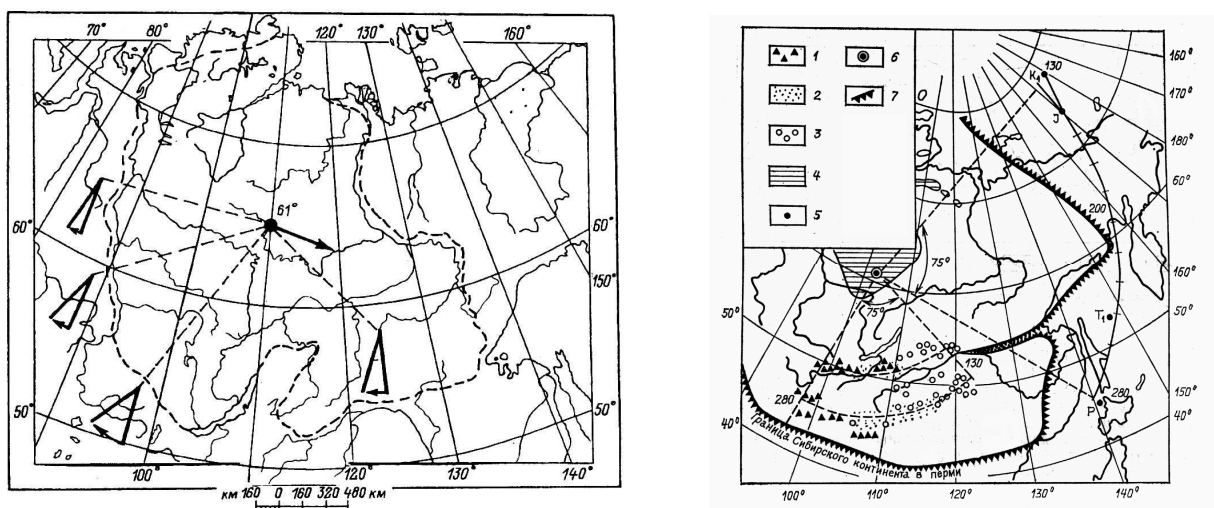


Рис. 2. Положение полюсов вращения Сибирской платформы относительно складчатого обрамления:

а) по Храмову и др. [9]. Показаны повороты Сибирской платформы относительно (слева направо): Русской платформы, Казахстанских блоков, Тарима, Амурской плиты); б) по Зоненшайну и др. [4]. Цифрами показаны: проявления магматизма 1 – пермские; 2 – триасово-среднеюрские; 3 – позднеюрские-раннемеловые; 4 – пермо-триасовые (траппы); 5 – палеомагнитные полюса; 6 – полюс вращения Сибири с 250 до 130 млн. лет назад; 7 – граница Сибирского континента в Перми

Дополнительные геофизические, петрологические и геологические подтверждения указанного поворота платформы приведены в работе Г.Л. Митрофанова и А.П. Таскина [8]. В последнее время получены новые палеомагнитные данные, подтверждающие реальность поворота Сибирской платформы относительно ее западного обрамления в послепермское время [6] и в целом Сибирского домена внутри Евразийской плиты (относительно Европейской части плиты) в течение почти всего мезозоя (рис. 3) [7].

Координаты полюсов вращения (эйлеровых полюсов) Сибирского домена Евразийской плиты, рассчитанных различными авторами приведены в табл. 2. Следует оговориться, что координаты эйлеровых полюсов, полученных по палеомагнитным данным, даны в относительной, а не абсолютной системе координат, тогда как для GPS определений эти две системы координат совпадают. Это позволяет корректно сравнивать положение полюсов вращения в относительной системе.

Доверительные интервалы определения палеомагнитных полюсов, как правило, составляют 5-10°, поэтому в пределах ошибки определения, все полюсы имеют хорошую сходимость между собой, в том числе рассчитанный по результатам GPS наблюдений. Практически неизменное положение полюса вращения Сибирской платформы относительно структур ее складчатого обрамления в относительной системе координат свидетельствует о постоянстве вращения Сибирского домена в структуре Евразийской плиты. По-видимому, вращение этого тектонического элемента по часовой стрелке, фиксируемое с конца палеозоя является глобальным процессом, связанным с общепланетарным движением плит. Кроме того, наблюдается общее замедление этого процесса, в

результате с конца мелового периода поворот уже не фиксируется палеомагнитным методом, в силу того, что его величина выходит за пределы разрешающей способности метода, а мгновенная скорость вращения по данным GPS, по крайней мере, в 10 раз меньше таковой для мезозойского времени. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 07-05-00077, № 07-05-01026; гранта Президиума РАН № 16, проект № 3; интеграционных проектов СО РАН №№ 27, 87, 116.

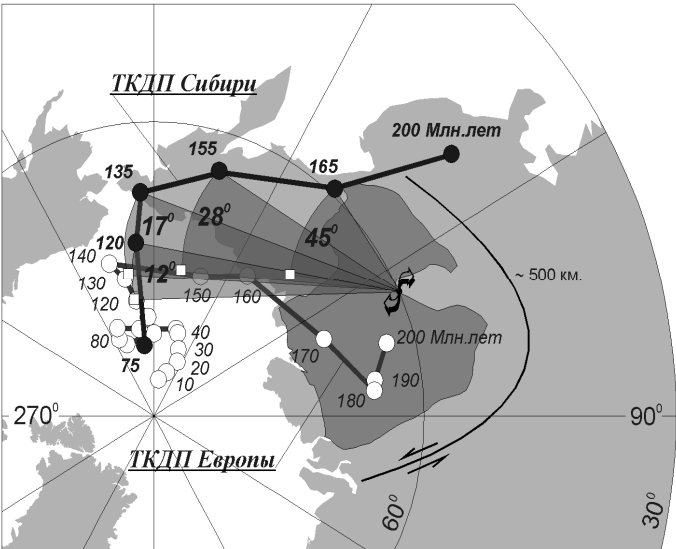


Рис. 3. Сравнение положения палео-магнитных полюсов Сибири (траектория кажущегося движения полюса – ТКДП Сибири по [7]) и Европы (ТКДП Европы по [11]). Цифры у точек указывают возраст соответствующего палеомагнитного полюса в млн. лет, секторами показан необходимый угол поворота сибирских палеомагнитных полюсов до совпадения с соответствующими интервалами ТКДП Европы. Квадратами показано положение Сибирских палеомагнитных полюсов после поворота на указанный угол

Таблица 2. Координаты полюсов вращения Сибирского домена Евразийской плиты

Автор	Широта (° с. ш.)	Долгота (° в. д.)	Референтный блок	Время поворота млн. лет	Метод определения
Зоненшайн и др. [4]	54	104	Южное обрамление	250 – 130	Миграция магматизма
Храмов и др. [9]	65	110	Западное и южное обрамление	~250 – 0	Палеомагнитный
Казанский [6]	65	117	Западное обрамление	~250 – 0	Палеомагнитный
Метелкин и др. [7]	60	115	Европейский домен	165 – 75	Палеомагнитный
Тимофеев и др. [10]	57.6	117.1	Амурская плита	0	GPS

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов М.Л. Горизонтальные перемещения Сибирской платформы в триасе, по палеомагнитным и геологическим данным / М.Л. Баженов, А.А. Моссаковский. / Геотектоника, 1986, №1. – С. 59–69.
2. Воронов П.С. Тангенциальные региональные сдвиговые деформации земной коры на севере Средней Сибири / П.С. Воронов. / Инф. бюл. Ин-та геологии Арктики, вып. 17, Л., 1959. – С. 13–20.
3. Воронов П.С. Поворот Сибирской платформы и ее сдвиговая тектоника / П.С. Воронов, А.Н. Храмов. / Сдвиговые тектонические перемещения и их роль в образовании месторождений полезных ископаемых. Л., 1988. – С. 91–95.
4. Зоненшайн Л.П. Тектоника литосферных плит территории СССР / Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин, Л.М. Натапов. / М.: Недра. 1990. Кн. 2. – 340 с.
5. Лухнев А.В. Современные тектонические деформации центральной Азии по данным измерений методом GPS геодезии за 1994-2004 гг./ А.В. Лухнев, В.А. Саньков, А.И. Мирошниченко, Э.Кале, С.В. Ашурков / «Совр. геодинамика и опасные природные процессы в Центр. Азии», в. 2, Ответ. ред. К.Г.Леви и С.И.Шерман, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, 2005. – С. 26–38.
6. Казанский А.Ю. Эволюция структур западного обрамления Сибирской платформы по палеомагнитным данным / Автореф. дис. на соиск. уч. степ. д.г.-м.н, Новосибирск 2002. – 40 с.
7. Метелкин Д.В. Мезозойский интервал траектории кажущегося движения полюса Сибирского домена Евразийской плиты / Д.В. Метелкин, В.А. Верниковский, А.Ю. Казанский, В.А. Каширцев, В.Ю. Брагин, Л.В. Кунгурцев. / Докл. РАН, т. 418, № 4, 2008. – С.500–505.
8. Митрофанов Г.Л. Структурные соотношения Сибирской платформы со складчатым окружением / Г.Л. Митрофанов, А.П. Таскин. / Геотектоника, 1994, № 1. – С. 3–15.
9. Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет земной группы / С.Петербург, Наука, 1997. – 591с.
10. Тимофеев В.Ю. Результаты анализа данных GPS измерений (2003-2006) по Сихоте-Алиньской сети Дальнего Востока / В.Ю. Тимофеев, П.Ю. Горнов, Д.Г. Ардюков, Ю.Ф. Малышев, Е.В. Бойко. / Тихоокеанская геология. 2008, 4.
11. Besse J. Apparent and true polar wander and geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr / J. Besse, V. Courtillot / J.Geoph.Res., 2002, v. 107, № B11, p. 1–31.
12. Boucher C. (2001) The ITRF 2000. / C. Boucher, Z. Altamimi, P. Sillard, M. Feissel-Vernier / IERS Technical Note, 2001, № 31, 270 p.

*© В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, А.Ю. Казанский,
Д.В. Метелкин, Е.В. Бойко, В.Ю. Брагин, 2008*

УДК 550.34.06 ББК 6.01.16.

Г.М. Воскобойникова

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ВСТУПЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ОБРАТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

G.M. Woskoboynikova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (ICM&MG)
SB RAS

Prospect Akademika Lavrentyeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia.

INCREASING THE ACCURACY OF DETERMINING THE ARRIVAL TIMES OF SEISMIC WAVES WITH METHODS OF INVERSE FILTRATION AND DYNAMIC PROGRAMMING

Vibrational seismograms are characterized by a low contrast of the arrival times of seismic waves. This greatly decreases the measurement accuracy of the arrival times. A combination of two methods is used to increase the accuracy, namely, the inverse filtration method used to increase the contrast of the arrival times and an a posteriori algorithm based on the dynamic programming method. This method is used to determine automatically the arrival times of seismic waves. During processing waves have the form of a quasi-periodic sequence on the background of seismic noise. The results of processing of experimental data of active vibroseismic monitoring prove that the combination of these methods is effective.

Рассматривается задача повышения точности и автоматизации процедуры определения моментов вступлений сейсмических волн, порождаемых мощным вибрационным источником. Такая задача возникает в связи с проблемой активного мониторинга зон зарождающихся катастроф (землетрясений, вулканов и др.), в которых протекающие геодинамические процессы отображаются в параметры регистрируемого волнового поля на выход среды [1].

Как известно, по отношению к вибрационным сейсмограммам, получаемым в результате зондирования среды свип-сигналами, форма волны соответствует нуль-фазовому сигналу и, соответственно, время ее вступления определяется максимумом амплитуды волны. Дисперсия оценки вступления волны по направлению годографа θ – линии вступления волн на многоканальной записи – определяется второй производной в виде

$$D_{\theta} = -1 / \left(d^2 u(\theta) / d\theta^2 \right) \Big|_{\theta_0},$$

где: θ_0 – угол наибольшей чувствительности регистрирующей линейки сейсмоприемников, достигаемой в направлении распространения фронта волны.

В отличие от взрывных вибрационные сейсмограммы, зарегистрированные от сейсмического вибратора являются узкополосными, т. е. характеризуются узким спектром частот, поэтому они растянуты во времени и имеют низкую контрастность вступления сейсмических волн, что сильно ухудшает точность измерения времен вступления. С целью повышения точности используется метод обратной фильтрации (деконволюции), который позволяет сжать сигнал во времени до единичного импульса (рис. 1) и расширить спектр частот. В случае нуль-фазовых сигналов, каковыми являются вибрационные сейсмограммы, наибольший интерес представляет применение метода гомоморфной деконволюции [2].

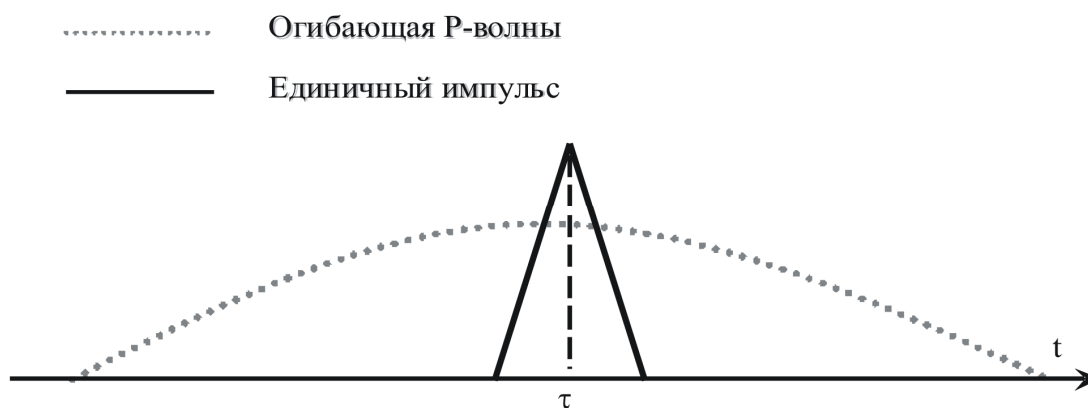


Рис. 1

Последовательное применение двух методов – метода гомоморфной фильтрации и апостериорного алгоритма определения моментов вступлений сейсмических волн в квазипериодических последовательностях – позволяет поднять точность измерений и автоматизировать процесс их выполнения.

Гомоморфная деконволюция вибрационных данных

Кепстр вибросейсмической трассы имеет вид [4, 5]:

$$\hat{K}^*(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \log[K^*(\omega)] \cdot e^{i\omega t} d\omega, \quad (1)$$

где $K^*(\omega)$ – преобразование Фурье коррелограммы $K^*(t)$.

Поскольку

$$K^*(t) = V(t) \cdot IR(t),$$

то

$$\log[K^*(\omega)] = \log[V(\omega)] + \log[IR(\omega)], \quad (2)$$

где $V(\omega)$ и $IR(\omega)$ – преобразование Фурье от $V(t)$ и $IR(t)$. Тогда кепстр коррелограммы можно переписать в виде:

$$\hat{K}^*(t) = \hat{V}(t) + \hat{IR}(t), \quad (3)$$

где $\hat{V}(t)$ – кепстр импульса вибросигнала, $\hat{IR}(t)$ – кепстр импульсной реакции среды.

Таким образом, последовательности данных, которые подвергаются сверткам во временной области, трансформируются в кепстры аддитивные в другой области, называемой q-представлением [6, 7]. При использовании малых времен в q-представлении $\hat{K}^*(t)$ используется для оценки формы сигнала, $\log[K^*(\omega)]$ рассматривается как сигнал, и «низкочастотное» содержание этого сигнала используется для оценки $\log[V(\omega)]$ при $|t| < T_0$ в кепстральной области, где T_0 – «время среза» в q-представлении. Процесс аналогичен фильтрации нижних частот. В предположении нуль-фазовой формы импульса на коррелограмме нуль-фазовый кепстр трассы имеет вид:

$$\hat{K}_0^*(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \log[K^*(\omega)] \cdot e^{i\omega t} d\omega. \quad (4)$$

Или

$$\hat{K}_0^*(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \{\log[V(\omega)] + \log[IR(\omega)]\} \cdot e^{i\omega t} d\omega. \quad (5)$$

Первый член (5) обозначает логарифм амплитудного спектра или нуль-фазовый скептр волнового импульса и может быть найден путем низкочастотной фильтрации кепстра в q-представлении. Аналогично оценивается член $|IR(\omega)|$.

При допущении, что фаза $\theta(\omega)$ вибросейсмической трассы идентична фазе импульсной реакции среды, импульсная характеристика может быть получена в результате обратного преобразования Фурье:

$$IR(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |IR(\omega)| \cdot e^{i\omega t} \cdot e^{i\theta t} d\omega. \quad (6)$$

Спектр импульсной реакции среды, полученный в результате фильтрации кепстра, является выравненным спектром исходной коррелограммы.

На рис. 2 показан пример работы метода обратной фильтрации. В верхней части рисунка представлена вибрационная сейсмограмма, зарегистрированная от вибратора ЦВ-100 в диапазоне частот $5.5 \div 9.5$, а в нижней – та же сейсмограмма после применения метода деконволюции. Из рисунка видно, что происходит сжатие сложного колебания до отдельных импульсов, что облегчает выделение отдельных волн и вычисление их моментов вступления с помощью апостериорного алгоритма, который будет описан ниже.

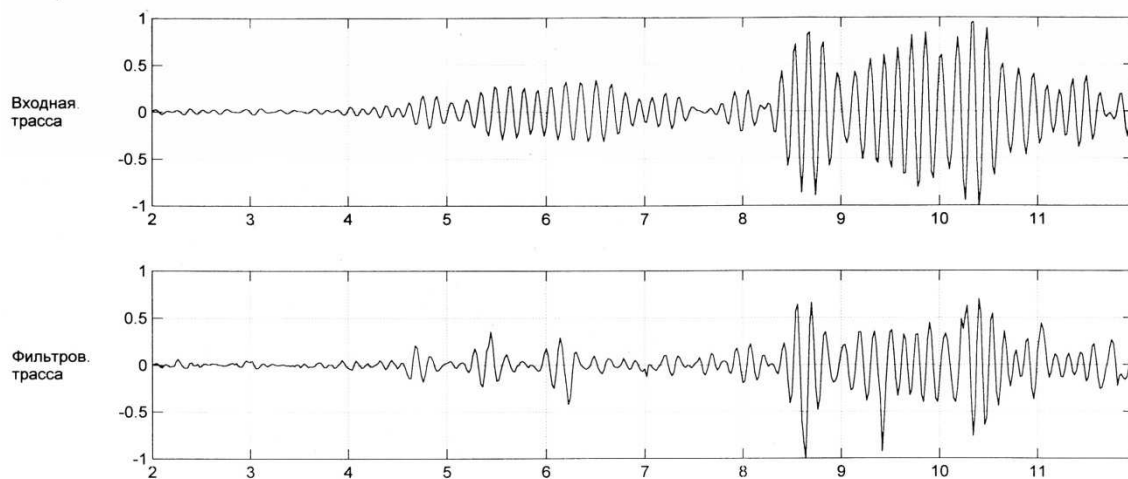


Рис. 2

Алгоритм и программа для автоматического определения моментов вступления волн

Для определения вектора времен вступлений волн n_i ($i = 1, \dots, M$) в автоматизированном режиме измерений применяется алгоритм определения моментов вступлений квазипериодической последовательности импульсов на фоне гауссовых шумов и оценивания их формы [7]. В качестве целевой функции выбрано выражение вида:

$$S(n_1, \dots, n_M) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{k=0}^{q-1} y_{n_i+k} y_{n_j+k} \rightarrow \max_{\Omega}, \quad (7)$$

где n_i, n_j ($i, j = \overline{1, M}$) – моменты вступления первых волн;

$y_{n_j+k}, y_{n_i+k}, i, j = \overline{1, M}, k = \overline{0, q-1}$, – Р-волны заданной длительности q ;

M – количество сейсмограмм;

$\Omega = \{(n_1, \dots, n_M) \mid 0 \leq n_1 \leq T_{\max} - q - 1, N - T_{\max} - q \leq n_M \leq N - q - 1,$

$q \leq T_{\min} \leq n_i - n_{i-1} \leq T_{\max}, i = \overline{2, M}\}$.

Критерий (7) основан на методе максимального правдоподобия. В результате некоторых преобразований, которые приведены в статье [7], выражение (7) эквивалентно следующему выражению:

$$\tilde{S}(n_1, \dots, n_M) = \sum_{i=1}^M \sum_{k=0}^{q-1} u_k (u_k - 2y_{n_i+k}) = \sum_{i=1}^M G(n_i) \rightarrow \min_{\Omega}, \quad (8)$$

$$G(n_i) = \sum_{k=0}^{q-1} u_k (u_k - 2y_{n_i+k})$$

где $\tilde{u}_k = y_{n_1+k}^*$, $k = 0, \dots, q-1$, $n_1^* = \underset{0 \leq n_1 \leq T_{\max}-q-1}{\text{Argmax}} S(n_1) = \underset{0 \leq n_1 \leq T_{\max}-q-1}{\text{Argmax}} \sum_{k=0}^{q-1} y_{n_1+k}^2$.

Для решения задачи минимизации (8) был предложен алгоритм, основанный на методе динамического программирования. Для задачи

минимизации (8) на множестве Ω справедливы следующие рекуррентные формулы динамического программирования:

$$\begin{aligned} S(n) &= 0, \text{ если } n \in [-T_{\max}, T_{\max} - T_{\min} - q - 1], \\ S(n) &= \min_{n - T_{\max} \leq m \leq n - T_{\min}} \{S(m) + G(m)\}, \text{ если } n = \overline{0, N - q + T_{\min} - 1}, \\ S(N) &= \min_{N - q \leq n \leq N - q - 1 + T_{\min}} \{S(n) + G(n)\}, \\ \text{Ind}(n) &= 0, \text{ если } n \in [-T_{\max}, T_{\max} - T_{\min} - q - 1], \\ \text{Ind}(n) &= \text{Arg min}_{n - T_{\max} \leq m \leq n - T_{\min}} (S(m) + G(m)), \text{ если } n = \overline{0, N - q + T_{\min} - 1}. \end{aligned}$$

где через $S(n)$ и $\text{Ind}(n)$ обозначены минимальное значение функционала и указатель минимума на n -ом шаге.

Число импульсов и их расположение в последовательности определяется рекуррентным вычислением в обратном порядке по указателю минимума:

$$\begin{cases} m_0 = \text{Arg min}_{N - q \leq n \leq N - q + T_{\min} - 1} (S(n) + G(n)) \\ m_i = \text{Ind}(m_{i-1}), i = 1, 2, \dots, \end{cases}, \quad (9)$$

причем процесс останавливается при таком шаге $i = r$, что $\text{Ind}(m_r) = 0$. В результате вычисления по формуле (9) получаем последовательность $m_r, m_{r-1}, \dots, m_1$, такую, что: $(\tilde{n}_1, \tilde{n}_2, \dots, \tilde{n}_{\tilde{M}-1}, \tilde{n}_{\tilde{M}}) = (m_r, m_{r-1}, \dots, m_1)$. Величина r дает оценку $\tilde{M}$ числа импульсов, попавших в кадр.

В результате решения задачи минимизации найден оптимальный набор моментов времени начала импульсов и их количество:

$$(\tilde{n}_1, \dots, \tilde{n}_{\tilde{M}}, \tilde{M}) = \text{Arg min}_{\Omega} \tilde{S}(n_1, \dots, n_M).$$

В качестве примера, иллюстрирующего работу данного алгоритма в автоматическом режиме, на рис. 3 приведены экспериментально полученные вибрационные сейсмограммы, зарегистрированные от сейсмического вибратора СВ-10/100 в полосе частот $\Delta F = 10 \div 100$ Гц. Время вступления головной волны на каждой сейсмограмм, измеренное в автоматическом режиме с помощью описанного алгоритма, помечено красным кружком. Точность измерений в случае таких широкополосных сигналов составляет не хуже 3 %.

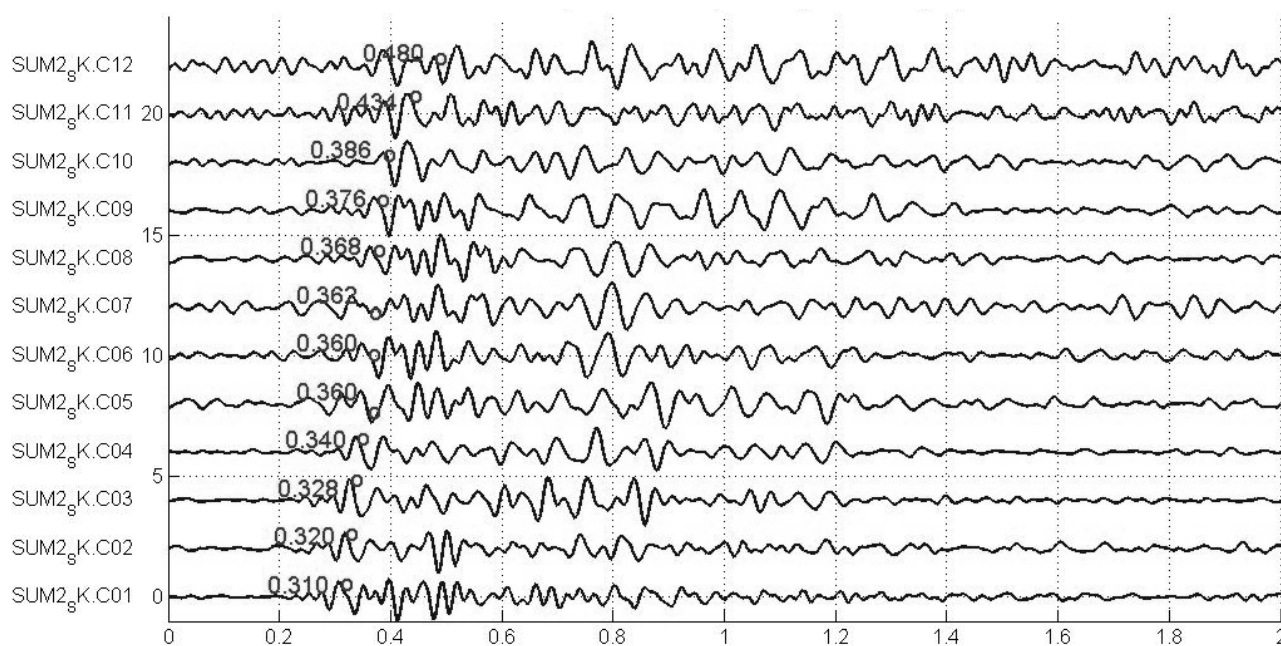


Рис. 3

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований, гранты № 07-07-00214-а, № 07-05-00858-а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С. и др. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. / Монография. "Гео" Издательства СО РАН, Новосибирск, 350 с., 2004.
2. Вибрационная разведка. / Под редакцией М.Б. Шнеерсона. М.: "Недра 1990.
3. Hozin D.I., Bogers I.B. Homomorphys deconvolution. / Geophysics. – 1983. – v. 48, № 7. – pp. 1014–1016.
4. [Iurkevies A., Wiggins R. A critique of seismic deconvolution methods. / Geophysics. – 1984. – v. 49, № 12.
5. Wiggins Ralph A. Minimum entropy deconvolution / "Geoexploration". – 1978. – v. 16, № 1, 2.
6. Ristow and D. Iurezyk. Vibroseis Deconvolution. / Geophysical Prosp. – 1975. – v. 23, 2, – pp. 363–380.
7. Voskoboynikova G.M. Detection and measurement of quasi-periodic seismic waves parameters. / The Proceedings of 8th Korea-Russia Int. Symposium (KORUS-2004), v. 1, 2004, pp.184–187.

УДК 528.4

А.П. Григорюк, Л.П. Брагинская
ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ОПЫТ ВЕБ-КАРТОГРАФИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СЕРВИСА GOOGLE MAPS

A.P. Grigoruk, L.P. Braginskaya

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia.

WEB CARTOGRAPHY BASED ON GOOGLE MAP SERVICE

Internet is now the decisive factor for distribution of the geoinformative systems and their conversion into important component of the contemporary informational technology. Recently, however; the hybrid or mash-up systems, such as GIS, becomes most popular in the Internet. In such systems the geological data from the application database combine with the cartographical service granted by a special Web server. Google Maps is now the most developed service of cartography [1].

Authors of the present report have applied Google Maps to provide GIS function in the information and modeling system “Vibroiseis Translucence of the Earth”. This web system is based on the data have been obtained in exclusive experiments on the vibroseis translucence of the Earth by means of the powerful seismic vibrators.

В настоящее время Интернет стал определяющим фактором в распространении геоинформационных систем и превращении их в важный компонент современных информационных технологий. Веб-картографирование (web-mapping) — формирование картографического изображения и вывод релевантной информации на экран компьютера посетителя веб-сайта с помощью веб-браузера, посредством которого непосредственно или поддерживаемого им специального клиентского расширения осуществляется управление картографическим веб-сервером для исполнения команд по перестройке карты (изменение содержания, масштаба, сдвиг и т. д.) Существует большое количество серверного программного обеспечения позволяющего публиковать в сети Интернет карты, сопровождаемые базовым ГИС-инструментарием, данные и метаданные, обеспечивая к ним одновременный доступ неограниченного числа пользователей. В качестве примера можно привести ArcIMS — известный продукт компании ESRI, а также бесплатно распространяемый MapServer.

Однако в последнее время в Интернете все большее развитие получают гибридные или мэшап (иначе «мэш-ап», от англ. mash-up — «смешивать») системы, в частности ГИС. В таких системах геоданные из прикладной базы данных интегрируются с картографическим сервисом, предоставляемым

специализированным веб-сервером. На сегодняшний день наиболее развитым картографическим сервисом является Google Maps компании Google [1]. Сервис базируется на данных дистанционного зондирования (спутниковые снимки Landsat, SPOT, Quickbird) и топографических картах. Любая точка мира отображается с точностью до 1:25000 на основе данных, полученных после 2003 года. Снимки предоставлены компанией EarthSat и сделаны со спутника Landsat-7, камерой ETM+, разрешение на местности – 15 м, спектрозональные изображения получены путем комбинирования исходных 30-метровых спектрозональных цветных изображений с 15-метровыми панхроматическими данными, получаемыми одновременно со спектрозональными (технология pansharpening). Крупные города и многие мировые территории отображаются вплоть до масштабов порядка 1 : 2 000, эти данные представлены компанией DigitalGlobe и сделаны со спутника Quickbird-2, камерой BHRC-60, исходное разрешение этих снимков 0.68 м. Данные спроектированы в проекцию Меркатора и базируются на сфере.

Для доступа к сервису из JavaScript программ предоставляется интерфейс Google Maps API. Несложные команды позволяют добавить на карту собственные контуры, маркеры, интерактивные подсказки и всплывающие окна. Использование технологии AJAX обеспечивает обновление содержимого страницы без ее перезагрузки, таким образом изменение масштаба и перемещение по карте осуществляется без каких-либо задержек. Данные для отображения могут находиться как непосредственно в коде веб-страниц, так и во внешних XML файлах. Сервис Google Maps, как и сами карты и снимки, является бесплатным для некоммерческого использования.

В предлагаемой работе сервис Google Maps применен для обеспечения ГИС-функций в информационно-вычислительной системе «Вибросейсмическое просвечивание Земли» (грант РФФИ № 05-07-90081) [2]. Эта веб-ориентированная система основана на данных, полученных в ходе уникальных экспериментов по вибросейсмическому просвечиванию Земли с помощью мощных сейсмических вибраторов. Эксперименты проводились на протяжении 1995-2007 годов в Алтае-Саянском регионе, Байкальской рифтовой зоне, Таманской грязевулканической провинции. Обобщенная структурная схема системы приведена на рис. 1.

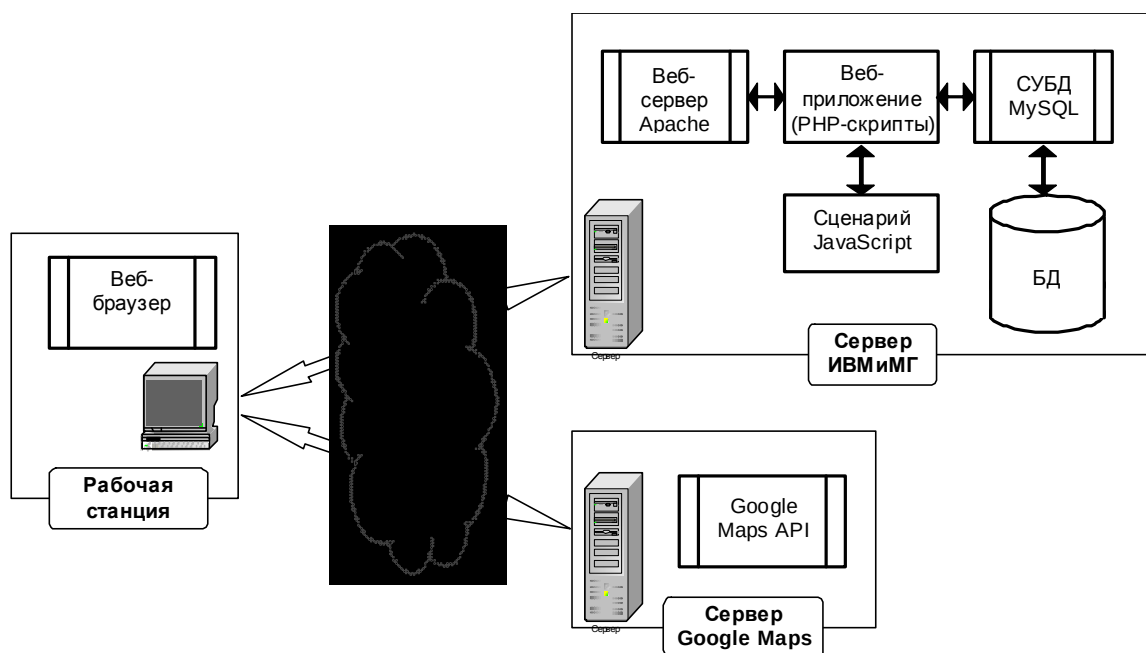


Рис. 1. Структурная схема гибридной ГИС

Как видно из схемы, управляющее веб-приложение помимо обычных функций по обработке пользовательских запросов и взаимодействию с базой данных, обеспечивает генерацию JavaScript сценария для доступа к сервису Google Maps. Этот сценарий вместе с содержащейся в нем релевантной информацией, выбранной из базы данных, встраивается в код веб-страницы, возвращаемой пользователю. В процессе загрузки этой страницы в веб-браузер и осуществляется непосредственно обращение к сервису Google Maps за картографической информацией в соответствии с интерфейсом Google Maps API. На рис. 2 приведен пример интерактивной карты, сгенерированной в соответствии с пользовательским запросом.

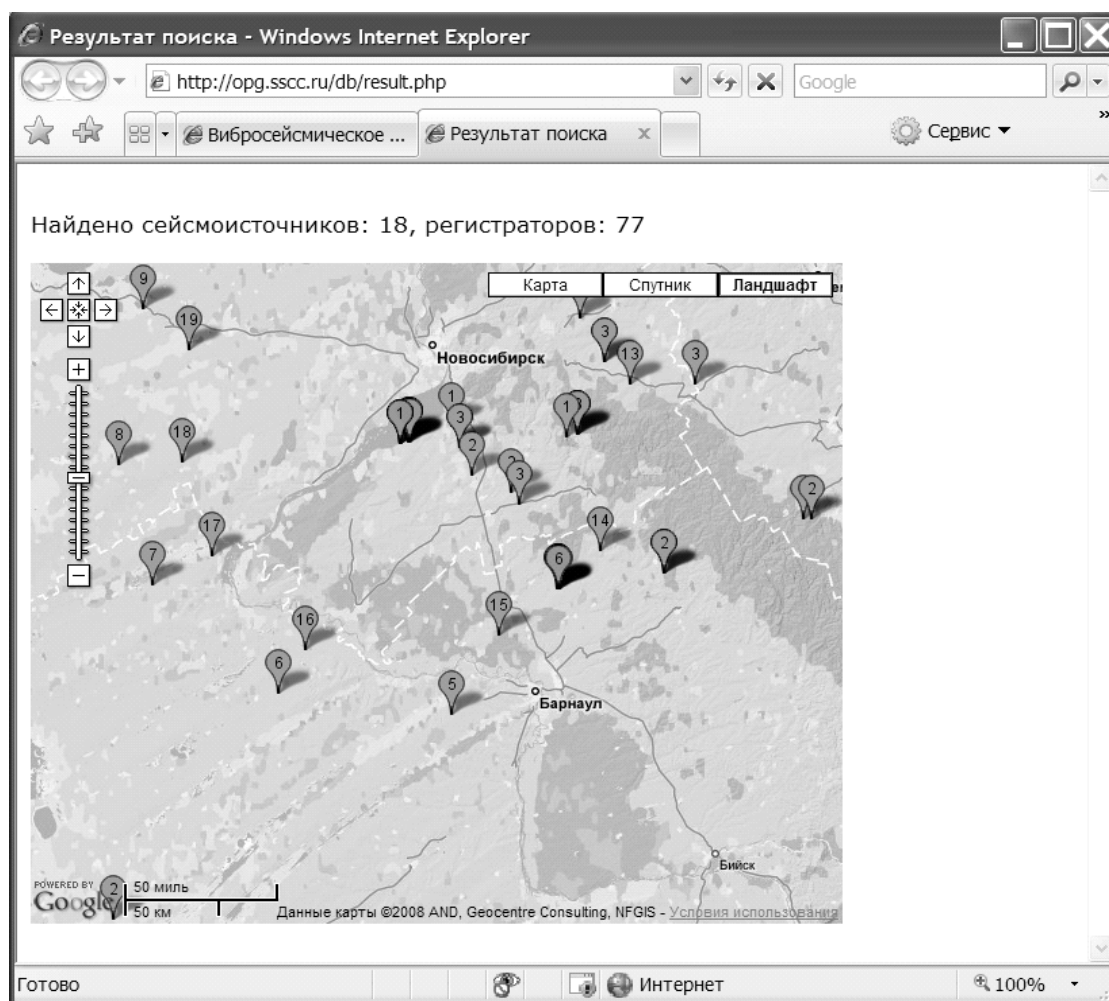


Рис. 2. Пример интерактивной карты

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 07-07-00106.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Google Maps API Documentation.
<http://www.google.com/apis/maps/documentation>
2. Григорюк А.П., Брагинская Л.П. Управление данными вибросейсмического мониторинга. // Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия. Сб. материалов междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2007» Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2007.

© А.П. Григорюк, Л.П. Брагинская, 2008

УДК 551.796

С.Т. Им, В.И. Харук

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

АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННОЙ ДИНАМИКИ ЭКОТОНА ГОРНОЙ ЛЕСОТУНДРЫ НА ОСНОВЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, КОСМОСЪЕМКИ И ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

S.T. Im, V.I. Kharuk

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS

Academgorodok, 50-28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

ANALYSIS OF CLIMATE INDUCED MOUNTAINOUS FOREST-TUNDRA ECOTONE DYNAMICS BASED ON CARTOGRAPHICAL MATERIALS, SATELLITE DATA AND DIGITAL ELEVATION MODEL

Changes of mountainous forest-tundra ecotone induced by climate were analyzed. Object of research is located at the Sengilen ridge (Altai-Sayanskii region). Based on analysis of topographic materials, satellite scene and digital elevation model it was concluded that in mountainous forest-tundra ecotone area of closed stands increased by ~100% during the period of 1965 – 2002. As for elevation above sea level stands area increased near the upper treeline mainly. Stands area increase regarding to slopes is irregular: low and high degree slopes are occupied mainly. The rate of stands invasion by elevation gradient is estimated, rate is ~1 m/yr. As for aspects the minimum of stands distribution is observed for altitudes higher than 2200 m, it is probably due to degree of moisture. For the altitudes > 2300 m wind direction becomes dominated factor of trees survival: distribution of stands by azimuth is corresponding to wind rose.

За последние сто лет в северной части Азии наблюдается увеличение средней годовой температуры на ~2.9 °С, средней зимней на ~4.4 °С [IPCC, 2001]. Климатические сценарии указывают на дальнейший рост температур. В последние десятилетия 20-го века происходит расселение древесной растительности в тундру, возрастание сомкнутости и увеличение радиального прироста в при-тундровых лесах [Lloyd, Fastie, 2002; Shiyatov, 2003]. Отмечается увеличение сомкнутости лиственных древостоев и их проникновение в зону тундры на северном пределе произрастания [Харук и др., 2004]. Относительно верхней границы леса, имеющиеся сведения противоречивы. В работах [Kullmann, 2002; Shiyatov, 2003] обнаружено ее смещение по градиенту высоты. Однако ряд других исследователей утверждают о стабильности границы леса в течение последних десятилетий [Masek 2001].

Цель исследования – анализ климатически индуцированных изменений экотона горной лесотундры.

Объект исследования. Анализируется экотон горной лесотундры хр. Сенгилен, расположенный в Алтае-Саянском регионе; $S \sim 125\,000$ га (рис. 1).

Материалы. Топографические карты (М 1 : 100 000 1965, 1983 гг.), снимок Landsat-7 (2002 г.), данные полевых обследований (2007 г.), цифровая модель рельефа местности (ЦМР, формат SRTM).

Методика обработки состояла из следующих основных этапов: 1) анализ и предобработка исходных материалов; 2) обработка топографических карт; 3) обработка космоснимка Landsat-7; 4) анализ динамики площадей классов; 5) анализ пространственно-временной динамики древостоев.

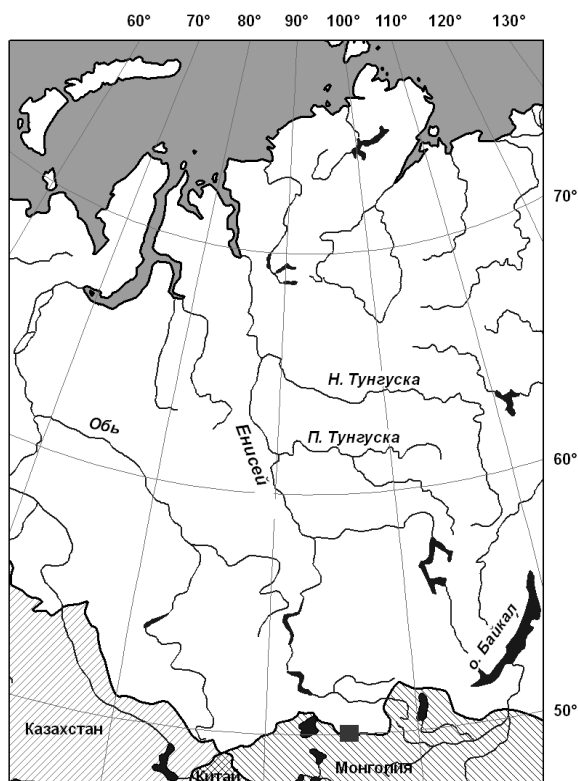


Рис. 1. Объект исследования – квадрат, южная граница р. Тыва с Монголией

По топокартам оцифрованы контуры древостоев с сомкнутостью крон > 0.25 . Снимок Landsat-7 обработан в программе Erdas Imagine. Используя ЦМР, сделана ортокоррекция космоснимка. Применялся алгоритм топографической нормализации яркостей пикселей методом С-коррекции [Riaño et al, 2003; McDonald et al, 2000; Meyer et al 1993].

Обучающие выборки сформированы на основе данных наземных обследований и топокарт. Выделены следующие классы: 1) лиственные насаждения (сомкнутость > 0.25); 2) кустарниковые сообщества; 3) травяные сообщества; 4) болота; 5) минерализованные поверхности; 6) водные поверхности; 7) в особый класс выделены древостои, находящиеся в тени. Средняя ошибка перепутывания сигнатур классов 1.5 %, максимальные ошибки: 25 % между болотами и травяными сообществами и 21 % между

болотами и кустарниковыми сообществами. По обучающим выборкам методом максимального правдоподобия сформирована классификационная картосхема. Оценка точности дешифрирования древостоев сделана на основе данных наземного обследования и карты 1983 г. и составила 89 %, каппа = 0.8. Анализ пространственно-временной динамики древостоев по элементам рельефа выполнен на основе топокарт, картосхемы и ЦМР. Изображения разделены на фрагменты, которые соответствовали высотным срезам (с величиной шага 100 м). Для каждого среза сформированы графики распределения площадей сомкнутых древостоев по азимутам, крутизне склонов и высотам. Азимуты разделены на восемь частей (северный, северо-восточный, восточный, юго-восточный, южный, юго-западный, западный и северо-западный сектора).

Результаты. Скорости продвижения древостоев оценены сравнением контуров на картах и генерированной по снимку Landsat-7 картосхемы. Средняя скорость за период 1965–2002 гг. для южных склонов составила ~1 м/год, для северных ~ 0.3 м/год.

Наибольшая величина прироста площади древостоев наблюдается вблизи верхней границы древостоев (рис. 2).

Азимутальное распределение древостоев асимметрично. В высотном аспекте азимутальное распределение изменяется от типа «юг – север» (с максимальными значениями на севере), до «запад – восток» верхнем высотном поясе (с максимальными значениями на востоке, рис. 3). Первый тип распределения обусловлен, очевидно, лимитом влаги на южных, наиболее прогреваемых склонах. Отметим, что на южных склонах встречаются отдельные участки погибших вследствие дефицита влаги древостоев. Форма индикатрисы для верхнего пояса леса определяется воздействием преобладающих ветров: на высотах более 2 300 м ветер становится доминирующим фактором выживания деревьев. Максимальная величина прироста древостоев наблюдалась на юго-восточных склонах. Этот азимут находится в области максимума распределения древостоев (высотная граница > 2 300м, рис. 3, 4).

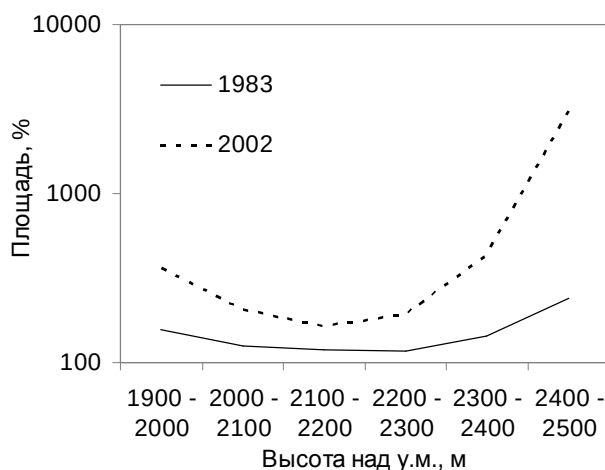


Рис. 2. Распределение нормализованных площадей по высотным срезам относительно площади 1965 г.

С продвижением по градиенту высоты наблюдается смещение максимума распределения древостоев от малых углов (нижняя часть высотных срезов) к большим (с приближением к пределу произрастания древесной растительности). Указанная закономерность наглядно прослеживается на зависимости медианы площади древостоев (выраженной в градусах крутизны склона) от высоты над у. м. (рис. 5).

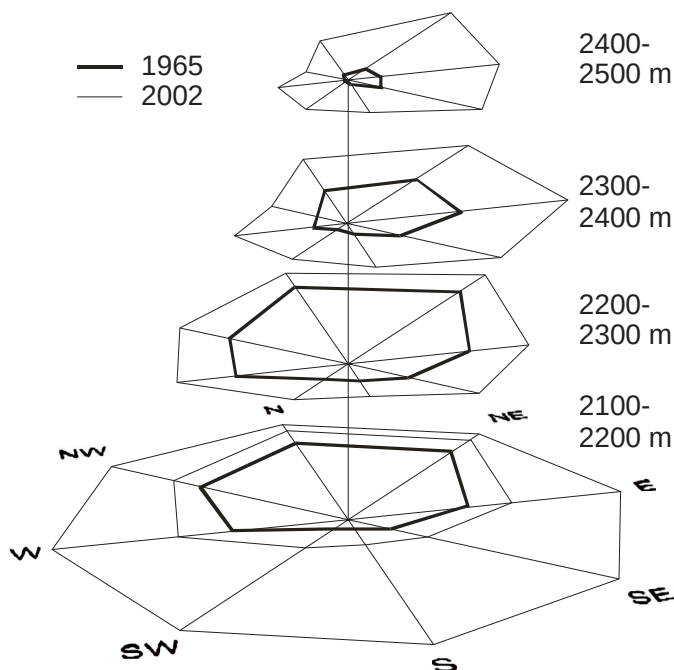


Рис. 3. Распределение нормализованных площадей сомкнутых древостоев по азимутальным направлениям для высотных срезов

Склоны малой крутизны локализованы преимущественно в нижнем интервале высот, склоны большой крутизны – в верхнем. Указанные различия могут быть обусловлены следующим. А). Склоны малой крутизны соответствуют преимущественно долинам рек и ручьев. Наблюдаемой освоение указанных элементов рельефа происходит вследствие (1) уменьшения/более раннего схода снежного покрова, т. е. удлинения периода вегетации (иначе возобновление «вымокает», становится нежизнеспособным); (2) речные долины/распадки представляют зоны орографического усиления ветра; повышение зимних температур влечет снижение «жесткости» климата (уменьшается диссекция и снежная абразия). Б). Продвигаясь по градиенту высоты, древесная растительность осваивает наиболее защищенные элементы (складки) рельефа. Склоны высокой крутизны (на подветренных элементах рельефа) защищают деревья от диссекции и абразии.

Выводы

1. В экотоне горной лесотундры (хр. Сенгилен) в период с 1965 по 2002 год произошло возрастание площади сомкнутых древостоев ~ 100 %.

2. По высоте над у. м. преимущественно возрастала площадь древостоев, расположенных вблизи верхней границы леса.

3. Возрастание площади древостоев с учетом крутизны склонов также происходило неправомерно: преимущественно осваивались склоны малой и большой крутизны.

4. Скорость продвижения древостоев по градиенту высоты оценивается величиной $\sim 1/\text{год}$.

5. В азимутальном распределении древостоев на высотах < 2200 м наблюдается минимум на южных склонах, что обусловлено, вероятно, уровнем увлажнения. На высотах > 2300 м. направление ветра становится доминирующим фактором выживания деревьев: азимутальное распределение древостоев соответствует розе ветров (рис. 5).

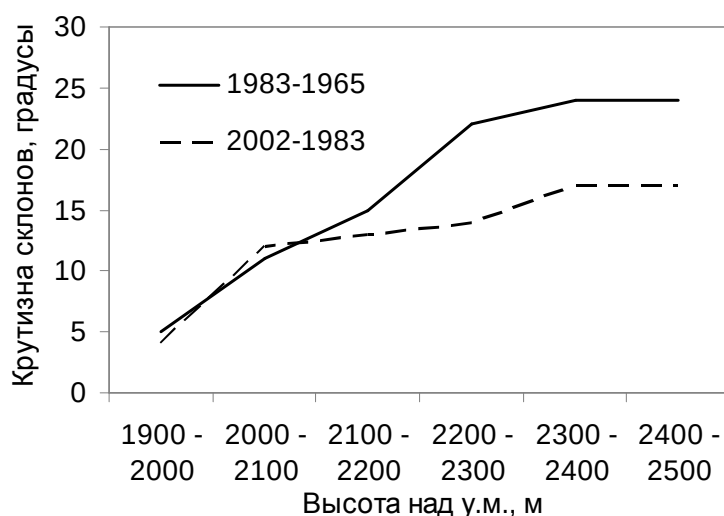


Рис. 4. Зависимость величины крутизны склонов, соответствующих медиане площади древостоев, от высоты над у. м.



Рис. 5. На пределе произрастания ветер становится доминирующим фактором, определяющим выживание древесной растительности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. IPCC: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. A Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K.S. White (eds.)] // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2001. 1032 pp.
2. Lloyd A.H., Fastie C.L. Spatial and temporal variability in the growth and climate response of treeline trees in Alaska. // Climatic Change. 2002. V. 52. P. 481–509.
3. Shiyatov S.G. Rates of change in the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains // Pages News. 2003. V. 11. № 1. P. 8–10.
4. Харук В.И., Им С.Т., Рэнсон К.Дж. и др. Временная динамика лиственницы в экотоне лесотундры // ДАН. 2004. 398. № 3. С. 404–408.
5. Kullmann L. Rapid recent range-margins rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes // Journal of Ecology. 2002. V. 90. P. 68–77.
6. Masek J.G. Stability of boreal forest stands during recent climate change: evidence from Landsat satellite imagery // Journal of Biogeography. 2001. V. 28. P. 967–976.
7. Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J., and Aguado I. Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2003. V. 41(5). P. 1056–1061. <http://www.cstars.ucdavis.edu/~driano/Riano2003b.pdf>

© С.Т. Им, В.И. Харук, 2008