

## МЕТОДИКА ТЕКСТУРНОЙ БИОИНДИКАЦИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

О. В. Базарский, С. Н. Козинцев

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 22.06.2011 г.

**Аннотация.** Рассматривается экспресс — методика мониторинга геоэкологического состояния территорий на основе текстурного анализа листьев пирамидального тополя.

**Ключевые слова:** пирамидальный тополь, текстура листа, геоэкологическая опасность территорий, геосферные оболочки, отражательная способность.

**Abstract.** The express train a technique of monitoring of an geoeological condition of territories on the basis of the textural analysis of leaves of a pyramidal poplar is considered.

**Keywords:** pyramidal poplar, sheet structure, geoeological danger of territories, geospherical covers, reflective ability.

### ВВЕДЕНИЕ

С ростом техногенной нагрузки на окружающую среду возникает необходимость оперативного контроля за состоянием природных геосферных оболочек Земли: атмосферы, литосферы, гидросферы, биосферы. Существующие методы экологического мониторинга и изучения экологического состояния территории связаны с анализом отдельных геосферных оболочек, причем, используемые методики существенно различаются и не позволяют одновременно получить комплексную информацию об экологическом состоянии территории в целом. Существующие способы оценки природных геосфер требуют значительных финансовых и временных затрат [1], и не являются комплексными. Удобной основой для формирования новой методики комплексного анализа геоэкологического состояния территорий могут служить биоиндикаторы.

Целью работы является разработка текстурной цифровой методики биоиндикации территорий, характеризующейся низкими материальными и временными затратами.

### ВЫБОР БИОИНДИКАТОРА И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБОРКИ

При выборе биоиндикатора учитывались следующие характеристики: широкое географическое распространение; простота аналитической работы с биоиндикатором; устойчивость биомаркера к негативному антропогенному воздействию; возможность получения интегрального сигнала биоинди-

катора о степени техногенной нагрузки геосферных оболочек.

Указанными характеристиками обладает тополь пирамидальный. Он характеризуется большой площадью поверхности кроны, через которую происходит атмосферное воздействие поллютантов; имеет мощную корневую систему, поскольку корни расходятся от ствола на расстояние, равное высоте необрезанного дерева. Через корневую систему происходит поступление загрязняющих веществ, аккумулированных в грунтах зоны аэрации и грунтовых водах. Объектом изучения является текстура листьев, дающая интегральный сигнал о состоянии природных геосферных оболочек. Характеристики листьев изменяются в течение сезона [2], в зависимости от интенсивности техногенной нагрузки и обновляются ежесезонно, тем самым полностью обновляя биоиндикационную информацию. Изучение характеристик листьев проводилось на двух территориях: 1. В г. Воронеже по периметру крупных автодорог (ул. Ворошилова и 20 лет Октября) — зона техногенного риска; 2. Вблизи Воронежского биосферного заповедника — зона фона. Исследования проводились в 2008г. с мая по сентябрь ежемесячно. В каждой зоне изучалось 30 деревьев, с каждого дерева отбиралось 5 листьев с различных сторон и переводилось в цифровой формат с разрешением 150 точек/дюйм по горизонтали и вертикали с типом файла JPEG. Суммарная выборка составила 1500 листьев.

### РАЗРАБОТКА ТЕКСТУРНОЙ МЕТОДИКИ БИОИНДИКАЦИИ

Цифровая модель базируется на двух экологических состояниях территории: экологическая

норма и экологический риск, и изменении листа в зоне экологического риска.

Под текстурой листа понимается статистические связи между отражательной способностью отдельных элементов внешнего строения листа. Размер пикселей близок к размеру устьиц листа и клеток эпидермиса. Статистической моделью является закон распределения пикселей по отражательной способности.

Текстурный экологический анализ основан на поражении отдельных устьиц (пикселей) или совокупностей клеток листа за счет комплексного негативного воздействия внешней среды. Из литературных данных известно [3], что отражательная способность растительности подчиняется логонормальному распределению, которое является строгой математической моделью текстуры. Поражение листьев будет изменять текстурные признаки листа, сохраняя модель в целом. Поэтому при выборе эффективных текстурных признаков возможна строгая экологическая классификация территории по биоиндикаторам, позволяющая оценить вероятности как правильной классификации, так и ошибки классификации.

С каждого листа, с помощью программного комплекса ArcView GIS 3.2a, получено 2 информационных блока данных, сохраняемых в текстовой форме. *Первый* из них содержит информацию о распределении отражающей способности пикселей данного листа в интервале 0—255 в зеленом диапазоне спектра. Это информация заложена в табличной форме состоящей из двух столбцов. В первом столбце отображено — значение градации от 0 до 255, во втором столбце — количество пик-

селов присущих данному значению отражающей способности на изучаемом листе. *Второй* информационный блок содержит информацию о распределении отражающей способности пикселей на анализируемом листе. Блок представлен таблицей с 3 столбцами. Первый столбец — значение абсциссы точки, второй столбец — значение ординаты точки, третий столбец — значение отражающей способности в точке с данными координатами на изучаемом листе.

На базе первого информационного блока построены законы распределения отражательной способности листьев, отобранных на территории экологического риска и нормы. Пример распределения показан на рис. 1, где  $P_i$  — повторяемость каждой градации и рассчитывается по формуле 1.

$$P_i = n_i / \sum n_i, \quad (1)$$

где  $n_i$  — количество точек попадающее в один интервал от 0 до 255.

Необходимо отметить высокую степень устойчивости пирамидального тополя к антропогенному воздействию, что определяет его широкое распространение и в то же время низкую чувствительность. Как следствие законы распределения для фоновой и техногенной зоны оказались достаточно близкими по их статистическим моментам: математическому ожиданию и дисперсии. Поэтому классификация проводилась по двум признакам, показывающим максимальную разделенность.

Первым выбранным текстурным признаком является количество градаций, повторяемость которых больше либо равна значению  $P_i = 0,005$  (рис. 1, табл. 1). В табл. 2 рассчитана среднеквадратическая ошибка.

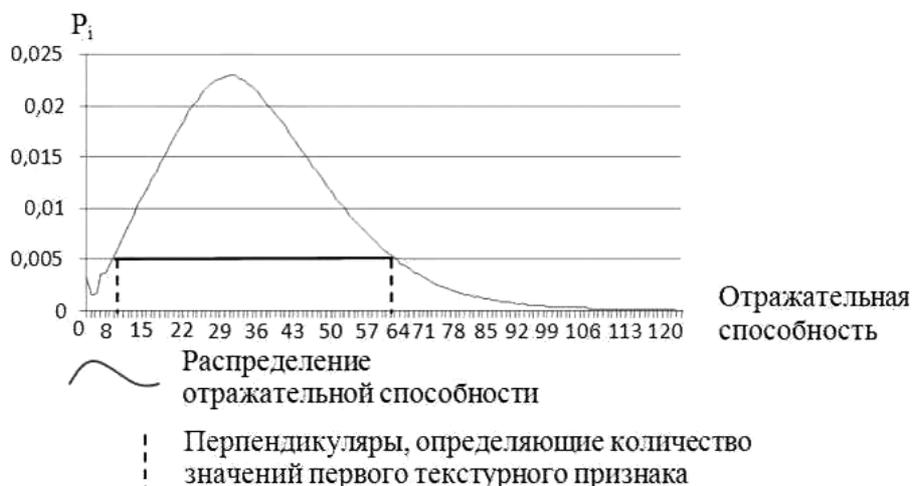


Рис. 1. Усредненное распределение отражающей способности листьев за май 2008 г. по фоновой зоне и количество значений отражательной способности больших либо равных значению  $P_i = 0,005$

Таблица 1

Значения по критерию  $P_i = 0,005$

	май	июнь	июль	август	сентябрь
Фоновая зона	51,21	50,96	55,61	57,41	53,17
Техногенная зона	53,32	55,85	58,52	56,77	56,58

Таблица 2

Среднеквадратическая ошибка

	май	июнь	июль	август	сентябрь
Фоновая зона	4,08	5,89	7,44	6,76	6,03
Техногенная зона	4,76	6,63	7,85	6,87	6,37

Рассмотрим данные от *второго* информационного блока.

По каждому листу было определено среднее сечение листа по «Y» — «Y<sub>0</sub>» (рис. 2). По этому сечению определены значения отражающей способности каждого пикселя, рис. 3. По каждому листу был произведен подсчет количества экстремумов по сечению «Y<sub>0</sub>» и разделен на общее количество пикселей по данному сечению. Полученные значения были помесячно и территориально усреднены (табл. 3). Эти величины являются вторым текстурным признаком. В табл. 4 рассчитана среднеквадратическая ошибка.

Оперативная обработка 1500 листьев по двум текстурным признакам проводилась с помощью специально разработанной авторской программы. Для ранжирования территории по двум классам (экологическая норма — экологический риск) пред-

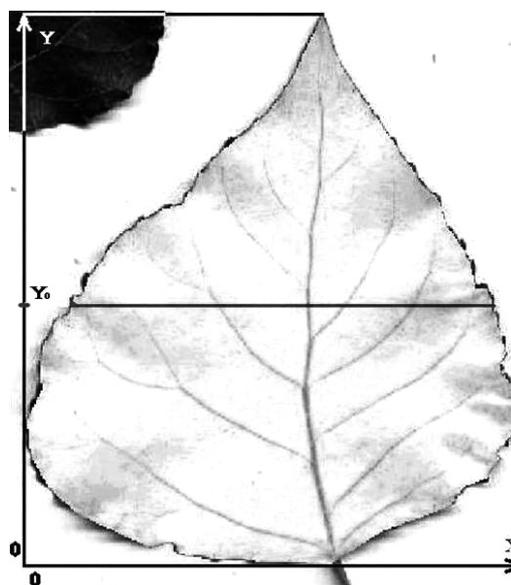


Рис. 2. Среднее сечение листа «Y»

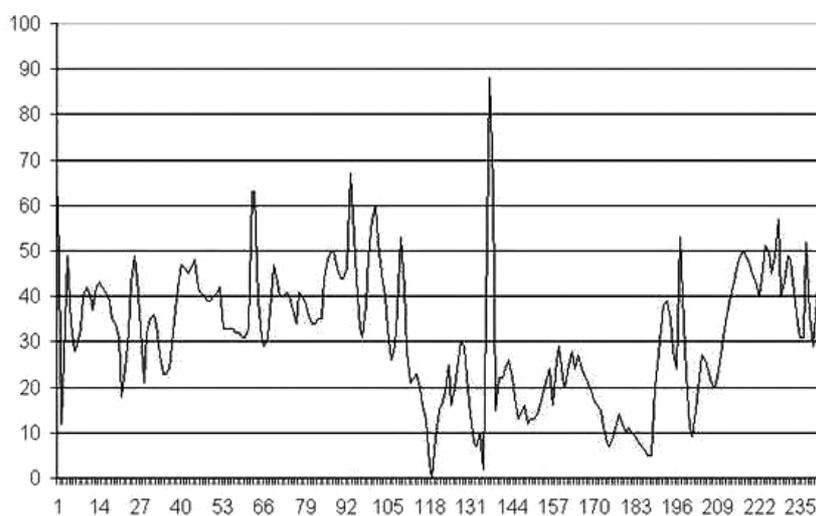


Рис. 3. Значения отражающей способности по среднему сечению листа

лагается интеграция двух вышеперечисленных текстурных признаков.

Интегрированный текстурный признак выражен в помесечном и территориальном перемножении значений в табл. 1 и табл. 3. Результат представлен в табл. 5. Среднеквадратическая ошибка интегрального признака представлена в табл. 6.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО СИСТЕМЕ  
ТЕКСТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ**

Из табл. 1 и 3 видно, что помесечное распределение текстурных признаков достаточно равномерное. Тогда функция принадлежности интегрального текстурного признака, полученного перемножением этих двух признаков, будет сверткой этих распределений [4] и будет иметь треугольный вид

с основанием равным двум среднеквадратическим ошибкам и нормированной высотой равной единице. Пример рис. 4.

Отрезок, заданный перпендикуляром из точки  $A_2$  — значение признака по фоновой зоне,  $B_2$  — по техногенной (табл. 5). Отрезок  $A_1—A_3$  и  $B_1—B_3$  равны двум среднеквадратическим ошибкам для данного месяца, соответственно для фоновой зоны и техногенной зоны, (табл. 6).

Отрезок  $C_1—C_2$  — граница, отделяющая значения нормы (слева) от значений риска (справа). Если интегральный признак попадает в интервал  $A_1—B_1$  или  $A_3—B_3$ , то образец со стопроцентной вероятностью относится соответственно к норме или риску. Если интегральный признак попадает в интервалы  $B_1—C_2$  или  $C_2—A_3$ , то отнесение его к определенному классу носит вероятностный характер. Вероятность ошибки первого рода  $P_1$  —

Таблица 3

*Значения первого текстурного признака*

	май	июнь	июль	август	сентябрь
Фоновая зона	0,2835	0,342	0,3401	0,3131	0,3382
Техногенная зона	0,3130	0,3518	0,3531	0,3604	0,3574

Таблица 4

*Среднеквадратические ошибки признака*

	май	июнь	июль	август	сентябрь
Фоновая зона	0,028	0,041	0,038	0,031	0,043
Техногенная зона	0,031	0,039	0,041	0,055	0,055

Таблица 5

*Значения интегрального текстурного признака*

	май	июнь	июль	август	сентябрь
Фоновая зона	14,52	17,42832	18,91296	17,97507	17,98209
Техногенная зона	16,69	19,64803	20,66341	20,45991	20,22169

Таблица 6

*Среднеквадратическая ошибка*

	май	июнь	июль	август	сентябрь
Фоновая зона	1,99	2,902267	3,296691	2,765353	3,063682
Техногенная зона	2,22	3,19133	3,666034	3,984895	3,855775

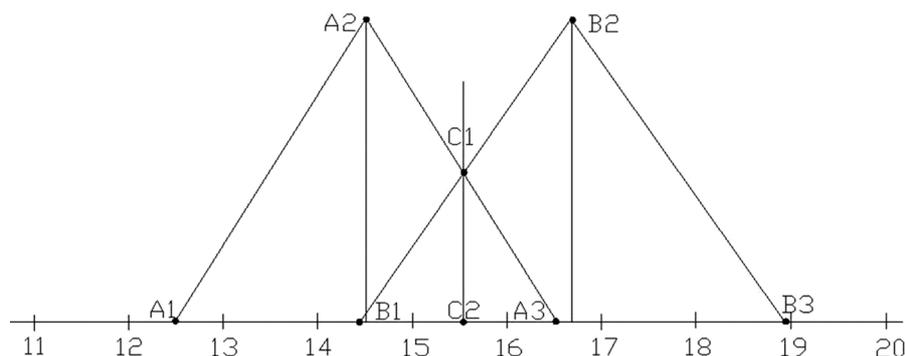


Рис. 4. Функции принадлежности интегрального признака для зоны фона и техногенной зоны за май 2008 г.

пропуск экологического риска для зоны  $B_1—C_2$ , когда риск классифицируется, как норма определяется по формуле 2.

$$P_1 = S(B_1C_1C_2) / (S(A_1A_2C_1B_1) + S(B_1C_1C_2)). \quad (2)$$

В этой зоне вероятность правильной классификации  $P_p = 1 - P_1$ , где  $S$  — площадь фигуры.

Для зоны  $C_2—A_3$  существует ошибка второго рода  $P_2$ , когда норма классифицируется как риск (формула 3).

$$P_2 = S(A_3C_1C_2) / (S(C_1A_3B_2B_3) + S(A_3C_1C_2)), \quad (3)$$

Вероятность правильной классификации  $P_n = 1 - P_2$ .

Сведем обработанные результаты по всем месяцам отбора проб в табличную форму, табл. 7.

Из табл. 7 следует, что разработанная текстурная методика характеризуется высокими вероят-

ностями правильной классификации даже в зоне неопределенности. Отметим, что наиболее благоприятен для текстурной классификации месяц — май, когда еще не наблюдается естественное биологическое старение биоиндикатора.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Текстурная методика биоиндикации техногенно-нарушенных территорий реализуется следующим алгоритмом.

1. С биоиндикатора с разных направлений отбирается минимум 10 листьев.
2. Делаются цифровые снимки или оцифровка изображений.
3. С использованием разработанной компьютерной программы или другим способом вычисляются два первых признака.

Таблица 7

Вероятности правильной классификации по градациям норма — риск

Месяцы	Норма		Граничное значение ( $C_1—C_2$ )	Риск	
	Интервал $A_1—B_1$	Интервал $C_2—B_1$		Интервал $C_2—A_3$	Интервал $A_3—B_3$
	Интервал значений; достоверность, %	Интервал значений; достоверность, %		Интервал значений; достоверность, %	Интервал значений; достоверность, %
Май	12,51—14,47; 100%	14,47—15,57; 85%	<15,57>	15,57—16,52; 87%	16,52—18,95; 100%
Июнь	14,52—16,43; 100%	16,43—18,47; 71%	<18,47>	18,47—20,33; 77%	20,33—22,85; 100%
Июль	15,6—16,96; 100%	16,96—19,7; 57%	<19,7>	19,7—22,20; 65%	22,20—24,30; 100%
Август	15,02—17,97; 100%	17,97—18,97; 64%	<18,97>	18,97—20,73; 82%	20,73—24,41; 100%
Сентябрь	14,92—16,36; 100%	16,36—18,98; 63%	<18,98>	18,98—21,05; 77%	21,05—24,01; 100%

4. Первичные признаки перемножаются, и вычисляется значение интегрального признака.

5. Полученное значение сопоставляется с разделяющей границей ( $C_1—C_2$ ) представленной в табл. 7, и делается вывод об отнесении территории отбора проб к зоне экологического риска или нормы с оценкой соответствующих вероятностей.

6. Если уровень загрязнения территории превышает уровень экологического риска, то граничное пороговое значение из таблицы 7 можно оставить неизменным, тогда значение интегрального признака техногенного нарушенной территории увеличится, сдвигаясь вправо. При этом вероятность пропуска сложной экологической ситуации будет уменьшаться.

Разработанная методика может широко применяться в системе экологического мониторинга. При проведении исследовательских мониторинговых работ изначально рекомендуется проанализировать данные от биоиндикаторов, и если изучаемая

территория будет отнесена по разработанной методике к зоне риска, то только в этом случае необходимо проведение более детальных исследований с применением затратных во временном и финансовом смысле анализов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косинова И. И. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рационального недропользования: Учебное пособие / И. И. Косинова, В. А. Богословский, В. А. Бударина. — Воронеж.: Воронеж. ун-та, 2004. — 279 с.

2. Захаров В. Н. Практикум по микробиологии: практикум: Практикум / В. Н. Захаров, Ф. А. Тихомиров. — М.: Колос, 1998. — 108 с.

3. Базарский О. В. Системы признаков для анализа и распознавания изображения случайных пространственных текстур: Журнал / О. В. Базарский, Ю. В. Коржик // Исследование Земли из космоса. — 1985. — №2. — С. 108—110.

4. Папулис А. Теория систем и преобразования в оптике: Учебное пособие / А. Папулис — М.: Мир, 1971. — 495 с.

---

*Базарский Олег Владимирович* — д.ф.-м.н., профессор кафедры экологической геологии Воронежского государственного университета; тел.: (473) 220-8289; e-mail: nobzd@vmail.ru

*Bazarsky Oleg Vladimirovich* — doctor physical mathematical sciences, Professor of department of Ecological Geology of the Voronezh State University; tel.: (473) 2208-289; e-mail: nobzd@vmail.ru

*Козинцев Сергей Николаевич* — магистрант кафедры экологической геологии Воронежского государственного университета; тел.: (903) 854-5788, e-mail: kozincev.s@mail.ru

*Kozincev Sergey N.* — student of department of ecological geology of the Voronezh State University; tel.: (903) 854-5788, e-mail: kozincev.s@mail.ru