

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

А. В. Васильченко

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 06.03.02 Почвоведение

Оренбург
2017

УДК 631.4:502.1(075.8)

ББК 40.3я73+20.1я73

В 19

Рецензент – кандидат биологических наук Д. Г. Поляков

Васильченко, А. В.

В 19 Почвенно-экологический мониторинг: учебное пособие/
А. В. Васильченко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2017.
– 281 с.
ISBN 978-5-7410-1815-6

В учебном пособии обоснованы принципы, объекты и задачи почвенного мониторинга как составной части экологического мониторинга, раскрываются понятия глобального, регионального, импактного и фоновое мониторинга. Освещены вопросы устойчивости почв к антропогенным воздействиям. Подробно рассмотрены виды специфического, комплексного и универсального мониторинга почв. Предложен перечень показателей почвенно-экологического мониторинга, сроки, периодичность наблюдений. Рассмотрены основные принципы дешифрирования аэрокосмоснимков и вопросы математического обеспечения почвенного мониторинга.

Учебное пособие предназначено для аудиторной и самостоятельной работы студентов по курсу «Б.1.В.ДВ.4.1 Почвенно-экологический мониторинг и экологическая экспертиза», вариативной части блока 1, очной формы обучения по направлению подготовки 06.03.02 Почвоведение.

УДК 631.4:502.1(075.8)

ББК 40.3я73+20.1я73

ISBN 978-5-7410-1815-6

© Васильченко А. В., 2017

© ОГУ, 2017

Содержание

Введение.....	6
1 Государственный экологический мониторинг как система управления природоохранной деятельностью.....	7
1.1 Системы управления природоохранной деятельностью	7
1.2 Государственный экологический мониторинг.....	11
1.3 Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС).....	25
2 Устойчивость почв к антропогенным воздействиям.....	31
2.1 Геохимическая устойчивость почв (устойчивость к техногенезу).....	33
2.2 Роль леса в устойчивости почв.....	38
2.3 Проблемы сохранения устойчивости почвенного покрова в области распространения многолетнемерзлых пород.....	41
3 Почвенный экологический мониторинг: понятия, показатели, виды, объекты, методы.....	45
3.1 Понятия о почвенном экологическом мониторинге и его программе.	45
3.2 Особенности почвы как объекта мониторинга.....	47
3.3 Показатели почвенного экологического мониторинга.....	49
3.4 Объекты почвенного экологического мониторинга.....	51
3.5 Виды почвенного экологического мониторинга.....	53
4 Специфический почвенно-экологический мониторинг.....	61
4.1 Мониторинг почв, подверженных загрязнению.....	61
4.1.1 Показатели состояния почв, определяемых при контроле загрязнения почв.....	61
4.1.2 Выбор тестовых участков при контроле состояния загрязненных почв.....	64
4.1.3 Экологическое нормирование качества загрязненных почв.....	66
4.2 Агрохимический мониторинг почв.....	75
5 Комплексный почвенно-экологический мониторинг.....	78

5.1 Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию...	78
5.2 Оценка деградации почв пастбищ.....	85
5.3 Ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг.....	90
5.4 Интегральная оценка степени деградации почв.....	96
6 Универсальный почвенный экологический мониторинг.....	99
6.1 Мониторинг микробиологического состояния почв.....	99
6.2 Мониторинг почв по их производительной способности (бонитировочный).....	106
6.3 Дистанционный почвенный экологический мониторинг.....	111
6.3.1 Характеристика спектральных кривых отражений.....	117
6.3.2 Использование показателей спектральной отражательной способности для количественных оценок.....	122
6.3.3 Использование показателей СКЯ для дистанционный исследований.....	156
7 Дешифрирование аэрокосмоснимков.....	160
7.1 Почва как объект дешифрирования.....	160
7.2 Особенности дешифрирования аэрофотоснимков.....	161
7.3 Особенности дешифрирования космических снимков.....	170
7.4 «Генетическое» и «контурное» дешифрирование почв.....	172
7.5 Дешифрирование открытых почв по прямым признакам.....	174
7.6 Дешифрирование почв по косвенным признакам. Роль рельефа, подстилающих пород, растительности, характера сельскохозяйствен- ного освоения территории. Ландшафтное дешифрирование.....	182
7.7 Временные признаки дешифрирования почв.....	195
7.8 Особенности дешифрирования почв разных природных зон.....	198
7.9 Особенности дешифрирования снимков в тепловом инфракрасном диапазоне.....	208
7.10 Особенности дешифрирования снимков в радиодиапазоне.....	212

8 Государственный мониторинг земель – один из механизмов управления земельными ресурсами.....	219
9 Организация почвенного экологического мониторинга в РФ.....	231
10 Математическое моделирование в почвенно-экологическом мониторинге.....	239
11 Оценка и контроль качества почвенной информации при экологическом мониторинге.....	257
Заключение.....	269
Список использованных источников.....	271
Приложение А Определение степени деградации почв и земель (по Яковлеву и др., 2001).....	274
Приложение Б Коэффициент, используемый при проверке на нормальность распределения с помощью критерия W для $n = 3(1)50$	277
Приложение В Критические значения W_α (вероятность $W < W_\alpha$ равна α)	280
Приложение Г Значение величин $\frac{t_\alpha(v)}{\sqrt{n}}$	281

Введение

Важнейший компонент природной среды – почва в значительной мере определяет состояние всей природной обстановки и отдельных видов природных ресурсов (лес, вода, растительность, животный мир).

Хозяйственная деятельность человека оказывает все более многообразное и ощутимое воздействие на состояние почв. С развитием промышленности, транспорта, крупных городов, использованием интенсивных методов ведения сельского хозяйства возникла серьезная проблема рационального использования земель, сохранения плодородия почв и поддержания оптимального санитарно-гигиенического состояния земельных угодий. Интенсивный характер землепользования и особая роль почвы как компонента природной среды определили потребность постоянного наблюдения за ее состоянием посредством ведения мониторинга.

Почвенный мониторинг – одна из важнейших составляющих экологического мониторинга в целом и направлена на выявление антропогенных изменений почв, которые могут в конечном итоге нанести вред здоровью человека или состоянию экосистемы. Роль почвенного мониторинга обусловлена тем, что все изменения в атмосфере, гидросфере, биосфере неизбежно отражаются на составе, свойствах и плодородии почв. Огромное практическое значение может иметь национальная система почвенного мониторинга (при широком понимании его задач), включающая контроль антропогенных изменений свойств почв и почвенных режимов, обнаружение сезонных изменений в состоянии почв природных и антропогенных ландшафтов.

1 Государственный экологический мониторинг как система управления природоохранной деятельностью

1.1 Системы управления природоохранной деятельностью

Экологическая экспертиза – установление соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям и определение допустимости реализации объекта экологической экспертизы в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую среду и связанных с ним социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы. Экологическая экспертиза представляет собой самостоятельный вид государственного экологического контроля; она имеет превентивное значение, ибо совершается до начала деятельности, а также выступает гарантом выполнения экологического законодательства. Экологическая экспертиза совершается в виде предварительной проверки соответствия хозяйственных решений, деятельности и ее результатов требованиям охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, экологической безопасности общества.

Государственная экологическая экспертиза как сфера деятельности в нашей стране ведет начало с 1988 г., с момента образования Государственного комитета СССР по охране природы. К началу 1990-х годов была сформирована система, позволяющая организовывать и проводить государственную экологическую экспертизу на всех уровнях административного деления (федеральном уровне, уровне субъектов, областном и городском уровнях). В настоящее время эти функции делегированы Министерству природных ресурсов РФ.

Единую систему государственной экологической экспертизы четко установил Закон РФ «Об экологической экспертизе» (1995). Субъектами

государственной экологической экспертизы согласно этому закону являются «специально уполномоченные на то федеральные государственные органы в области охраны окружающей среды и территориальные структуры, которые имеют исключительное право на проведение государственной экологической экспертизы и осуществляют соответствующие функции через свои подразделения, специализированные в области организации и проведения государственной экологической экспертизы».

Экологический контроль – одно из важнейших звеньев организационно-правового механизма охраны окружающей среды, предусмотренного Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Это один из видов государственной административной деятельности, призванной обеспечить соблюдение законодательства и выполнение природоохранных мероприятий. Задачами органов экологического контроля являются:

- наблюдение за состоянием среды и ее изменением под влиянием хозяйственной и иной деятельности;
- проверка выполнения планов и мероприятий по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов;
- проверка соблюдения природоохранного законодательства и нормативов качества природной среды.

Посредством экологического контроля обеспечивается принуждение природопользователей к исполнению экологических требований. В органы экологического контроля входит государственная служба наблюдения за состоянием природной среды [1].

Экологический контроль может быть государственным, производственным, муниципальным и общественным.

Государственный экологический контроль производится от имени государства, а не какого-либо ведомства, имеющего свои интересы, что дает независимые и объективные результаты. Этот контроль наиболее влиятельный, так как для осуществления своих функций может прибегать к

поддержке правоохранительных органов – прокуратуры и суда. Должностные лица органов государственного экологического контроля (государственные инспектора) имеют широкие полномочия. В частности они имеют право (согласно Закону об охране окружающей среды):

- принимать решения об ограничении, приостановлении и прекращении деятельности экологически вредных объектов;
- налагать административный штраф в установленном размере за нарушение природоохранного законодательства;
- предъявлять иски о возмещении вреда, причиненного природной среде, и направлять материалы в арбитражный суд для привлечения виновных к уголовной ответственности;
- выдавать разрешения на природопользование, устанавливать нормативы выбросов, сбросов вредных веществ, назначать государственную экологическую экспертизу [2].

Государственный экологический контроль осуществляется федеральными органами исполнительной власти и органами исполнительной власти субъектов РФ.

Производственный экологический контроль производится самим предприятием-природопользователем на своих объектах с целью обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности требований природоохранного законодательства и соблюдения установленных нормативов в области охраны окружающей среды, а также для самопроверки рациональности природопользования на своих объектах и выполнения планов и мероприятий по ограничению и уменьшению воздействия на среду. Содержание такого контроля зависит, прежде всего, от специфики деятельности предприятия. Сведения об организации производственного экологического контроля предприятия обязаны представлять в органы исполнительной власти и органы местного самоуправления.

Муниципальный экологический контроль осуществляется на территории муниципального образования¹ органами местного самоуправления или уполномоченными ими организациями.

Общественный экологический контроль осуществляется общественными и иными некоммерческими объединениями в соответствии с их уставами, а также гражданами. Его задача – проверка выполнения требований природоохранного законодательства как всеми юридическими лицами от министерства до предприятия, учреждения или организации независимо от формы их собственности и подчиненности, так и всеми должностными лицами и гражданами. Важной формой этого контроля является предусмотренное федеральным законом право граждан и общественных объединений затребовать информацию о состоянии окружающей среды и принимаемых мерах по ее охране, а также право граждан предъявлять в суд иски о возмещении вреда окружающей среды.

В середине 1980-х гг. в связи с возросшей социально-политической активностью населения во многих регионах страны начали формироваться массовые общественные экологические организации (союзы, объединения, ассоциации, фонды). На территории РФ это – экологическое движение «Зеленые», неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского, российский региональный экологический центр (РРЭЦ), общероссийская общественная организация «Зеленый патруль», российский Зеленый крест, движение Дружин охраны природы (ДОП). Среди международных организаций широкую известность получили – Гринпис, фонд дикой природы, международная экологическая организация «Беллона», международная ассоциация «Зеленый крест», Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП).

Высоко оценивая общественные экологические движения в защиту природы в нашей стране, нельзя не отметить и некоторого преувеличения

¹ Виды муниципальных образований: сельское, городской населенный пункт, муниципальный район, городской округ, внутригородской район.

экологической опасности со стороны «зеленых», посягательства в отдельных случаях на системы жизнеобеспечения населения. Оптимальный выход просматривается в соблюдении принципа экологической безопасности населения с подключением беспристрастной научной экспертизы, если потребуется, то и международной.

Мониторинг – важная часть контроля, которая представляет собой систему наблюдения за изменением состояния окружающей среды, вызванным антропогенными воздействиями. Цель мониторинга – констатация фактов, прогнозирование процессов в природе, выдача данных руководящим органам для своевременного вмешательства и исключения негативных воздействий на городскую среду и природу. Экологический мониторинг является начальным этапом системы обеспечения экологической безопасности [1, 2].

1.2 Государственный экологический мониторинг

Первым необходимым этапом на пути решения современных экологических проблем должно быть создание системы получения (сбора) надежной информации о состоянии окружающей природной среды. В конце 1960-х годов многие страны осознали необходимость координации усилий в развитии этого направления. В 1968 году в Париже состоялась конференция ЮНЕСКО, на которой были обсуждены основные положения Программы МАБ «Человек и биосфера». В этой программе дано определение мониторинга (от латинского слова «монитор», что обозначает «тот, который напоминает, предупреждает») – система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, дающих информацию о состоянии окружающей среды с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза изменения в будущем параметров окружающей среды имеющих значение для человека.

Эта программа включала разработку рекомендаций по организации Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС). Ее задача: раннее обнаружение и предупреждение наступающих антропогенных изменений в состоянии природной среды, которые могут нанести вред благосостоянию людей.

В 1972 г. в Стокгольме на конференции по охране окружающей среды под эгидой ООН было принято решение о создании комплексной системы мониторинга (наблюдений) за качеством атмосферного воздуха, воды и почвы с целью оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под влиянием антропогенных факторов [3, 4]. Именно в этом году Р. Манном было введено впервые понятие мониторинга окружающей среды.

У нас в стране одним из первых теорию мониторинга окружающей среды стал разрабатывать Ю.А. Израэль [5]. Он сделал акцент не только на наблюдении, но и прогнозе, введя в определение термина антропогенный фактор как основу причин этих изменений. Идеология экологического мониторинга в России сформулирована задолго до его организации В.И. Вернадским, А.Е. Ферсманом [3, 4].

Мониторинг – это система наблюдений, позволяющая выделить изменения биосферы под влиянием человеческой деятельности (по Израэлю, 1974). В таком уточнении понятия мониторинга окружающей среды есть два дискуссионных момента, которые неоднократно обсуждались в научной литературе и важны в аспекте определения целей мониторинга: наблюдать ли в ходе мониторинга только антропогенные изменения или природные тоже; включать ли в цели мониторинга только наблюдения и прогнозы или еще и управление состоянием среды.

В 1990 г. Ю.А. Израэль пришел к выводу, что в мониторинге окружающей среды необходим контроль как за антропогенными, так и природными изменениями и мониторинг, в конечном счете, служит управлению состоянием окружающей среды и в конечном итоге –

экономикой, самой жизнью, обеспечивает биологическую устойчивость и, что очень важно подчеркнуть, социально-экономическую устойчивость.

Одна из первых обзорных классификаций систем и подсистем мониторинга разных типов была составлена в начале 1970-х гг. Ю.А. Израэлем. Согласно этой классификации системы мониторинга могут подразделяться по разным признакам: по комплексу решаемых задач, по объектам наблюдений, по пространственному уровню, методам реализации и т.д. (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация видов мониторинга (по Ю.А. Израэлю, с дополнениями В.А. Королева)

Признак классифицирования систем мониторинга	Типы существующих или разрабатываемых систем (подсистем) мониторинга
Универсальность системы	Глобальный мониторинг (включая фоновый и палеомониторинг) Национальный мониторинг Международный, «международный» мониторинг
Санация основных составляющих биосферы	Геофизический мониторинг Биологический мониторинг Экологический мониторинг (включая оба предыдущих)
Загрязнение среды	Мониторинг загрязнений и изменений атмосферы, гидросферы, почвы, биоты
Техногенный источник воздействия	Ингредиентный мониторинг (радиоактивных продуктов, шумов и т.д.) Мониторинг источников загрязнения

Продолжение таблицы 1

Признак классифицирования систем мониторинга	Типы существующих или разрабатываемых систем (подсистем) мониторинга
Глобальные проблемы	Мониторинг озоносферы Мониторинг океана Генетический мониторинг
Методы наблюдений	Мониторинг по физическим, химическим и биологическим показателям Спутниковый (космический) мониторинг
Комплексный подход	Медико-биологический мониторинг Экологический мониторинг Климатический мониторинг

Одна из подробных схем общей типизации видов мониторинга была разработана В.Д. Минченко в 1990 г. Им выделено пять основных типов мониторинга: мониторинг окружающей среды, атмосферы, биосферы, подземных и поверхностных вод, литомониторинг. Как видно, в таком подразделении также не выдержаны логические принципы деления. Более полно системы мониторинга окружающей среды и соотношение некоторых видов мониторинга показаны на рисунках 1 и 2.

В 1970 – 1980-е гг. в зависимости от объекта наблюдений появились и такие термины, как экосистемный мониторинг, мониторинг гидросферы, почвенный мониторинг, геомониторинг.

Мониторинг источников воздействия	Источники воздействия			
Мониторинг факторов воздействия	Факторы воздействия			
	Физические	Биологические	Химические	
Мониторинг состояния биосферы	Природные среды			
	Атмосфера	Океан	Поверхность суши с реками и озерами, подземные воды	Биота
	Геофизический мониторинг			Биологический мониторинг

Рисунок 1 – Подразделение экологического мониторинга по видам наблюдений

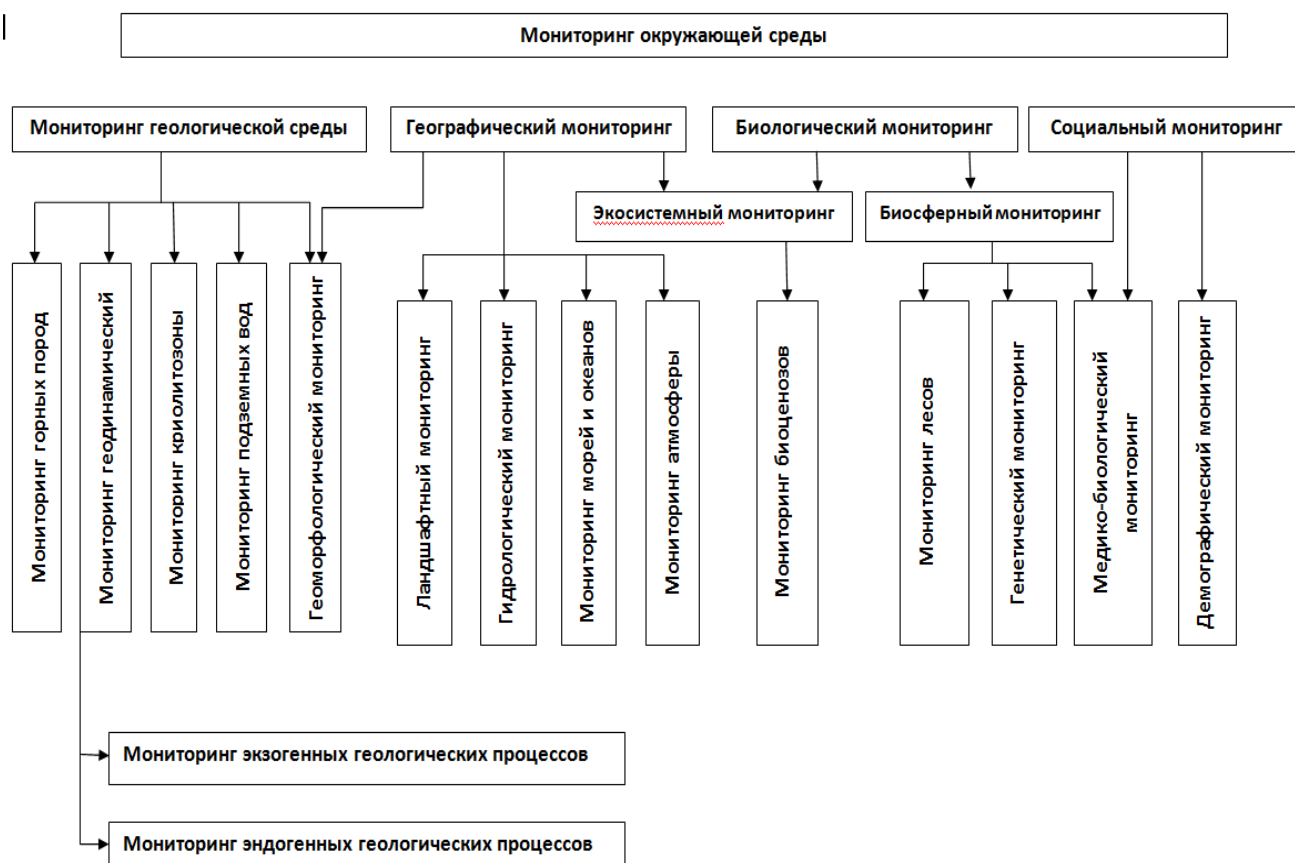


Рисунок 2 – Соотношение компонентов мониторинга окружающей среды (по В.А. Королеву, 1995)

В 1999 г. Госкомэкологией России совместно с другими ведомствами эколого-ресурсного блока был согласован проект постановления Правительства РФ «О развитии Единой государственной системы экологического мониторинга (далее ЕГСЭМ), утверждающего «Положение о ЕГЭСМ».

Органы власти РФ, обеспечивающие ЕГСЭМ представлены в таблице 2.

В ЕГСЭМ задействованы многие министерства и ведомства, между которыми, к сожалению, не всегда удастся обеспечить оперативное взаимодействие.

Таблица 2 – Органы власти РФ, обеспечивающие ЕГСЭМ

Федеральный орган исполнительной власти	Задачи федеральных органов исполнительной власти в ЕГСЭМ
Министерство природных ресурсов РФ	Мониторинг подземных водных объектов Мониторинг поверхностных водных объектов Мониторинг экзогенных геологических процессов Мониторинг эндогенных геологических процессов Мониторинг водохозяйственных систем и сооружений Мониторинг месторождений полезных ископаемых
Государственный комитет РФ по охране окружающей среды	Мониторинг источников антропогенного воздействия Мониторинг объектов животного мира, не отнесенных к объектам охоты и рыболовства Мониторинг объектов животного мира, принадлежащих к видам, занесенным в Красную книгу РФ и Красные книги субъектов РФ Мониторинг объектов растительного мира, принадлежащих к видам, занесенным в Красную книгу РФ и Красные книги субъектов РФ Мониторинг объектов растительного мира на землях не лесного фонда

Продолжение таблицы 2

Федеральный орган исполнительной власти	Задачи федеральных органов исполнительной власти в ЕГСЭМ
Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды	Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха Мониторинг поверхностных вод суши Мониторинг поверхностных вод морей Мониторинг загрязнения почв
Федеральная служба лесного хозяйства России	Мониторинг объектов растительного мира на землях лесного фонда Мониторинг объектов животного мира, принадлежащих к видам, занесенным в специальный перечень вредителей домашних животных и растений (кроме лесов)
Государственный комитет РФ по рыболовству	Мониторинг объектов животного мира, принадлежащих к объектам рыболовства и среды их обитания
Государственный комитет РФ по земельной политике	Государственный мониторинг земель: - мониторинг правового положения земель - мониторинг состояния земель - мониторинг использования земель
Федеральная служба России по геодезии и картографии	Топографический мониторинг

В марте 2004 г. постановлением Правительства РФ утверждено положение «Об организации и осуществлении государственного мониторинга окружающей среды» (от 31 марта 2003 г. № 177) [5].

Согласно ФЗ РФ от 21 ноября 2011 г. N 331-ФЗ государственный экологический мониторинг (государственный мониторинг окружающей среды) – комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды [6].

Экологический мониторинг (его нормативно-правовая база пока стандартизована и часто трактуется весьма произвольно) ставит своей целью дать ответы на следующие вопросы:

- каково состояние природной среды в рассматриваемый отрезок времени: в сравнении с предшествующим техногенезу состоянием и какие изменения (положительные, отрицательные) ожидаются в природной среде в прогнозируемый отрезок времени;

- в чем причины происшедших изменений и возможных изменений в будущем и что являлось, является или будет являться источником этих изменений;

- какие воздействия на данную локальную природную среду, определяемые исходя из выработанной для данного случая критериальной основы являются вредными (нежелательными или недопустимыми);

- какой уровень естественных и техногенных воздействий является допустимым для природной среды и отдельных ее компонентов;

- какой уровень естественных и техногенных воздействий на природную среду, отдельные ее компоненты и комплексы является недопустимым или критическим, после которого восстановление природной среды до уровня экологического баланса является неосуществимым [7].

Государственный экологический мониторинг (мониторинг окружающей среды) осуществляется федеральными органами исполнительной власти, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, посредством создания и обеспечения функционирования наблюдательных сетей и информационных ресурсов в рамках подсистем единой системы государственного экологического мониторинга, а также создания и эксплуатации федеральным органом исполнительной власти (уполномочен Правительством РФ) государственного фонда данных [6].

Залог успеха экологического мониторинга в его комплексности, которая обеспечивается не только контролем состояния всех природных сред, но и установлением взаимосвязи между ними (рисунок 3) [3, 4].

Единая система государственного экологического мониторинга создается в целях обеспечения охраны окружающей среды.

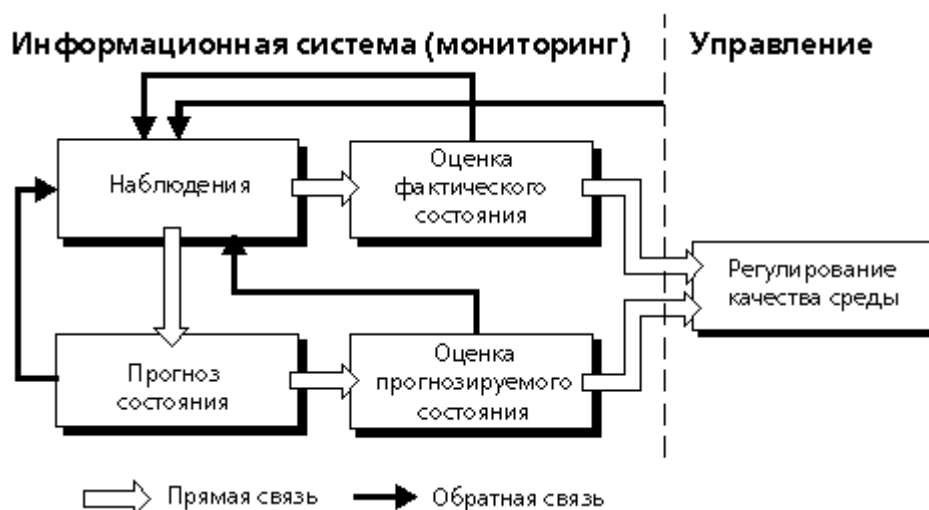


Рисунок 3 – Блок-схема системы мониторинга

Задачами единой системы государственного экологического мониторинга являются:

- регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, изменениями состояния окружающей среды;
- хранение, обработка (обобщение, систематизация) информации о состоянии окружающей среды;
- анализ полученной информации в целях своевременного выявления изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценка и прогноз этих изменений;

– обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, граждан информацией о состоянии окружающей среды [6].

Единая система государственного экологического мониторинга включает в себя подсистемы:

- мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды;
- мониторинга атмосферного воздуха;
- мониторинга радиационной обстановки на территории РФ;
- мониторинга земель;
- мониторинга объектов животного мира;
- лесопатологического мониторинга;
- мониторинга воспроизводства лесов;
- мониторинга состояния недр;
- мониторинга водных объектов;
- мониторинга водных биологических ресурсов;
- мониторинга внутренних морских вод и территориального моря РФ;
- мониторинга исключительной экономической зоны РФ;
- мониторинга континентального шельфа РФ;
- экологического мониторинга уникальной экологической системы озера Байкал;
- мониторинга охотничьих ресурсов и среды их обитания.

Федеральные органы исполнительной власти, осуществляющие управление в области ООС и контролируемые подсистемы экологического мониторинга, осуществляют:

– поиск, получение (сбор), хранение, обработку (обобщение, систематизация) и анализ информации о состоянии окружающей среды, происходящих в ней процессах, явлениях, об изменениях состояния окружающей среды;

– поиск, получение (сбор), хранение, обработку (обобщение, систематизация) и анализ информации об объектах, оказывающих

негативное воздействие на окружающую среду, о характере, видах и об объеме такого воздействия;

- оценку состояния окружающей среды и прогнозирование его изменений под воздействием природных и (или) антропогенных факторов;

- определение связей между воздействием природных и (или) антропогенных факторов на окружающую среду и изменениями состояния окружающей среды;

- выработку предложений о предотвращении негативного воздействия на окружающую среду и направление их в органы государственной власти, органы местного самоуправления, юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям;

- направление в органы государственной власти, уполномоченные на осуществление государственного контроля (надзора), и правоохранительные органы информации о нарушении нормативов в области охраны окружающей среды вследствие воздействия природных и (или) антропогенных факторов и предложений об устранении таких нарушений;

- направление в органы государственной власти, органы местного самоуправления предложений для их учета при подготовке документов территориального планирования и (или) предложений об изменении указанных документов в целях формирования благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, обеспечения охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах нынешнего и будущего поколений;

- выпуск экстренной информации о необходимости снижения негативного воздействия на окружающую среду природных и (или) антропогенных факторов;

- оценку эффективности проводимых природоохранных мероприятий.

Таким образом, конечная цель мониторинга – оптимизация отношений человека с природой, экологическая ориентация хозяйственной деятельности [6].

По территориальному охвату мониторинг различают три ступени или блока современного мониторинга:

1 *Глобальный (биосферный, фоновый) мониторинг* ставит целью получение информации о биосфере в целом или об отдельных биосферных процессах в глобальном масштабе (изменение климата, наблюдения за озоновым слоем, трансграничные переносы загрязняющих веществ и т.д.). Разработка и координация глобального мониторинга окружающей среды осуществляется в рамках ЮНЕП (орган ООН) и Всемирной метеорологической организации (ВМО).

2 *Региональный мониторинг* охватывает значительные по площади районы, которые, как правило, отличаются от соседних по природным условиям (например, природные зоны, ландшафтные комплексы, рекреационные территории вокруг городов, агроэкосистемы, бассейны рек и т.д.). На этом уровне основной задачей мониторинга является оценка изменений качества природной среды в региональном масштабе (область, край).

3 *Локальный (импактный, биоэкологический или санитарно-гигиенический) мониторинг* относится к отдельным объектам природной среды, которые чаще всего подвержены антропогенным нагрузкам (участки рек вблизи населенных пунктов, участки леса в районах систематических техногенных осадков и т.д.), либо к крупным источникам загрязнения (территории промышленно-энергетических центров, атомных электростанций, нефтепромыслов, агроэкосистем с интенсивным применением ядохимикатов и т.д.). В программу этого мониторинга входят наблюдения за изменением в различных сферах содержания загрязняющих веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными и иными неблагоприятными

свойствами. Тщательно исследуют и такие вредные физические воздействия, как радиация, шум, вибрация, электромагнитные поля и др.

Слежение за общебиосферными явлениями в природной среде, не подверженной региональным антропогенным воздействиям осуществляет *базовый или фоновый мониторинг*. Проводится на территориях биосферных заповедников – строго охраняемых больших участков, практически не испытывающих локальных воздействий деятельности человека, т.е. где исключена всякая хозяйственная деятельность.

По используемым методам ведения различают мониторинг:

1 Дистанционный – совокупность авиационных и космических методов наблюдения.

2 Наземный – осуществляется физико-химическими и биологическими методами исследования компонентов природной среды. Может быть стационарным, передвижным.

Локальный и региональный мониторинг является, как правило, внутригосударственной задачей, тогда как глобальный мониторинг – задача мирового сообщества. Этот вид мониторинга обуславливает необходимость международной кооперации и четкой координации деятельности всех государств [3].

Основной объем наблюдений выполняет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет России). С 1995 года в России с целью радикального повышения эффективности службы наблюдения введена Единая государственная система экологического контроля (ЕГСЭМ) (рисунок 4). К основным ее задачам относятся ведение специальных банков данных, характеризующих экологическую обстановку, и гармонизация их с международными эколого-информационными системами, а также оценка и прогноз состояния объектов и антропогенных воздействий на них, откликов экосистем и здоровья населения на изменение состояния окружающей среды [2].



Рисунок 4 – Государственная система экологического контроля по Петрову, 1995

Несмотря на различие объектов наблюдений, целей и задач систем мониторинга существуют общие теоретические и методологические принципы, единые для всех указанных систем мониторинга, которые необходимо учитывать при его организации. К ним относятся:

1 Структурно-организационный принцип. Система мониторинга любого уровня, являясь многоуровневой иерархической структурой, должна

строиться с учетом взаимодействия с высшими системами и низшими подсистемами.

2 Функциональный принцип. Мониторинг функционирует во времени как взаимосвязанная и взаимообусловленная система цепи постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления.

3 Обучающий принцип. С течением времени в системе работающего мониторинга качество прогнозов и эффективность управления должны закономерно улучшаться, система мониторинга во времени должна непрерывно совершенствоваться и строиться как «самообучающаяся» система.

4 Временной принцип. Частота наблюдений и сбора информации во времени в системе мониторинга полностью определяется динамикой наблюдаемых (изучаемых) процессов.

5 Целевой принцип. Система любого мониторинга должна строиться с учетом достижения его конечной цели – оптимизации управления данной природной или природно-технической системой (ПТС), что достигается на базе прогнозных оценок ее развития (эволюции) путем выработки оптимальных управляющих решений и рекомендаций [5].

1.3 Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС)

Существенная сеть наблюдений за источниками воздействия и за состоянием биосферы охватывает уже весь земной шар. ГСМОС была создана совместными усилиями мирового сообщества (основные положения, определяющие функционирование системы, были сформулированы в 1974 г. на первом межправительственном совещании по мониторингу). Наиболее

важной задачей была призвана организация мониторинга загрязнения окружающей природной среды и вызывающих его факторов воздействия.

Основы ГСМОС были заложены разработками академика Ю.А. Израэля (1930 – 2014 гг.). Центральной в предложенной им концепции была идея слежения за антропогенными изменениями в окружающей природной среде. Хорошо известно, что естественные, природные изменения климата, погоды, сезонные и межгодовые изменения разнообразия и биомассы растений и животных происходят сравнительно медленно, за большие отрезки времени. Их регистрируют различные геофизические, метеорологические, гидрологические, сейсмические и другие службы, а также станции фонового глобального мониторинга в биосферных заповедниках. Антропогенные изменения происходят гораздо быстрее, и их последствия весьма опасны, так как они могут стать необратимыми. Для их обнаружения необходимо иметь информацию о первоначальном состоянии объекта окружающей среды, т.е. о его состоянии до начала антропогенного воздействия.

Программа наблюдений формируется на основе выбора приоритетных загрязняющих веществ и интегральных характеристик группы явлений, процессов или веществ.

Определение приоритетов при организации систем мониторинга зависит от цели и задач конкретных программ. Так, в региональном масштабе приоритетными целями государственных систем мониторинга являются в первую очередь атмосферный воздух и вода пресных водоемов, крупные населенные пункты, источники питьевой вод, места нерестилищ рыб и т.д. осуществлять мониторинг содержания и распространения всех химических веществ не возможно, поэтому контролируют содержание только наиболее опасных соединений, определяемых по таким критериям, как высокая токсичность для человека, большие объемы поступления в окружающую среду, вероятность трансформации этих веществ в более токсичные и т.д.

Классы приоритетности загрязняющих веществ, установленные экспертным путем и принятые в системе ГСМОС, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация загрязняющих веществ по классам приоритетности, принятая в системе ГСМОС

Класс приоритетности	Загрязняющее вещество	Среда	Тип программы (уровень мониторинга)
1	Радионуклиды	Пища	И, Р*
	Взвешенные частицы, диоксид серы	Воздух	И, Р, Ф*
2	Кадмий	Пища, вода, человек	И
	Диоксины и хлорорганические соединения	Биота, человек	И, Р
	Озон	Воздух	И (тропосфера) Ф (стратосфера)
3	Оксиды азота	Воздух	И
	Нитриты, нитраты	Вода, пища	И
4	Диоксид углерода	Воздух	Ф
	Свинец	Воздух, пища	И
	Ртуть	Пища, вода	И, Р
5	Оксид углерода	Воздух	И
	Углеводороды нефти	Морская вода	Р, Ф
6	Фториды	Пресная вода	И
7	Мышьяк	Питьевая вода	И
	Асбест	Воздух	И
8	Микробиологические загрязнения	Пища	И, Р
* Обозначения типа мониторинга: И – импактный (локальный), Р – региональный, Ф – фоновый (глобальный).			

В России основными направлениями глобального мониторинга, согласно ГСМОС, считаются следующие:

- изучение эффектов, связанных с распространением загрязняющих веществ на большие расстояния;
- глобальные изменения содержания диоксида серы, озона, диоксида азота и углекислого газа в нижней атмосфере вследствие антропогенной эмиссии этих веществ;
- изменения глобального климата вследствие антропогенной эмиссии парниковых газов;
- усиление приземного потока ультрафиолетовой радиации, вызванное истончением стратосферного озонового слоя вследствие антропогенной эмиссии газов, разрушающих озон.

В 1993 г. в России было принято решение о создании Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ), объединяющей возможности многочисленных служб и ведомств для решения задач комплексного наблюдения, оценки и прогноза состояния среды в РФ. В настоящее время работы по созданию ЕГСЭМ находятся на стадии начальных региональных проектов.

Организационную основу Государственной службы наблюдения за состоянием окружающей природной среды составляют Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и ее подразделения на местах. На территории СССР в 1970-е годы на базе станций Гидрометеослужбы была организована Общегосударственная служба наблюдений и контроля состояния окружающей среды (ОГСНК), построенная по иерархическому принципу (рисунок 5).



Рисунок 5 – Пункты передачи информации в иерархической системе ОГСНК

Задача службы – обеспечение наблюдений за загрязнением природной среды и предоставление государственным органам и заинтересованным организациям систематической информации и прогнозов, а также экстренной информации о резких изменениях загрязнения природной среды. Все работы проводятся согласно нормативно-методическим документам, устанавливающим соответствующие требования.

Система наблюдений состоит из следующих подсистем наблюдений, объектами которых является загрязнение:

- воздух в городах и промышленных районах;
- почва;
- пресные и морские воды;
- трансграничный перенос веществ, загрязняющих атмосферу;
- природная среда.

Кроме того, ведутся комплексные наблюдения за состоянием растительности, химическим и радионуклидным составом и кислотностью атмосферных осадков и загрязнением снежного покрова.

Для планирования и осуществления природоохранных мероприятий необходимо контролировать общее состояние окружающей среды, чтобы точно знать, когда и где необходимо принять меры и какие именно. Контроль состояния окружающей среды осуществляется по физико-химическим и

биологическим показателям, характеризующим содержание в среде загрязняющих веществ и изменения в биоценозах под влиянием загрязнения. Вследствие огромного количества химических загрязняющих веществ и невозможности постоянного определения содержания каждого из них, наиболее эффективным считается контроль интегрального воздействия химического загрязнения среды, в первую очередь по биологическим показателям, которые отражают реакцию экосистемы на антропогенные воздействия [3].

Таким образом, залог успеха экологического мониторинга в его комплексности, которая обеспечивается не только контролем состояния всех природных сред, но и установлением взаимосвязи между ними. Подход к экологическому мониторингу должен быть только экосистемным. Программа сегодняшнего экологического мониторинга предполагает контроль воды, воздуха, почвы. Особое место в системе экологического мониторинга отводится почвенному мониторингу. Это обусловлено уникальностью экологических функций почвы [4].

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные системы управления природоохранной деятельностью.
- 2 Дайте определение таким понятиям как экологическая экспертиза, экологический контроль, экологический мониторинг.
- 3 Назовите основные задачи органов экологического контроля.
- 4 Охарактеризуйте государственный, производственный, муниципальный и общественный экологический контроль.
- 5 Когда впервые заговорили об экологическом мониторинге?
- 6 Классификация видов мониторинга.
- 7 Органы власти РФ, обеспечивающие ЕГСЭМ.
- 8 Что такое государственный экологический мониторинг согласно ФЗ РФ от 21 ноября 2011 г. N 331-ФЗ?

9 Перечислите задачи единой системы государственного экологического мониторинга.

10 Перечислите функции федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих управление в области ООС и контролируемых подсистем экологического мониторинга.

11 Охарактеризуйте ступени или блоки современного мониторинга по территориальному охвату.

12 Перечислите общие теоретические и методологические принципы, которые необходимо учитывать при организации мониторинга.

13 Дайте характеристику глобальной системе мониторинга окружающей среды (ГСМОС).

2 Устойчивость почв к антропогенным воздействиям

В связи с усилением антропогенного воздействия на почвенный покров возрастает обеспокоенность по поводу появления необратимых и нежелательных для человека его изменений. Встают задачи как прогнозирования и оценки изменяющейся ситуации, так и определения устойчивости почв к тем или иным формам вмешательства человека в почвообразование, поскольку способность их к самоочищению и сохранению нормального функционирования небеспределельна. Проблемы устойчивости комплексов природной среды, т.е. их реакции на разнообразные антропогенные воздействия, до сих пор разработаны весьма слабо. Наибольшее число работ посвящено анализу устойчивости геосистем [8].

Геосистема – это земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим сообществом. В сборнике «Устойчивость геосистем» (1983)

дан обзор точек зрения на понятие устойчивости геосистемы, которые могут быть отнесены с некоторыми оговорками и к почвам. Среди них можно отметить:

- 1) способность к длительному, накоплению вредных веществ без видимого вреда;
- 2) отсутствие или быстрое затухание колебаний в системе;
- 3) способность сохранять производительные функции в социально-экономической системе;
- 4) способность сохранять траекторию развития, направление тренда;
- 5) способность легко пропускать загрязнители;
- 6) способность не реагировать на сигналы;
- 7) вероятность сохранения объекта в течение некоторого времени;
- 8) способность восстановления прежнего состояния после возмущения;
- 9) способность глушить внешние сигналы;
- 10) стабильность состояния во времени;
- 11) способность адаптироваться к изменяющимся условиям.

Применительно к почвам – буферным открытым динамическим системам, связанным с окружающей средой потоками вещества и энергии (определение М.А. Глазовской), – можно было бы применить такое определение устойчивости: устойчивость – это способность возвращаться после возмущения в исходное состояние и сохранять производительную функцию в социально-экономической системе.

Для геосистем предложено выделять различные типы устойчивости: геохимическая устойчивость – способность к самоочищению от продуктов загрязнения; биологическая устойчивость – оценка восстановительных и защитных свойств растительности; физическая устойчивость литогенией основы (для почв – противозрозионная устойчивость). Вводится также понятие интегральной устойчивости, которое определяет устойчивость геосистем ко всему комплексу антропогенных воздействий. Наиболее детально параметры устойчивости геосистем и почв к техногенезу

(геохимическая устойчивость) разработаны М.А. Глазовской. Под устойчивостью геосистем к техногенезу понимается способность их к самоочищению от продуктов техногенеза, зависящую от скорости химических превращений и интенсивности выноса последних из геосистем.

Для понимания устойчивости к химическому загрязнению важно понятие проточность геосистем (почв). Проточность геосистемы – это механизм выноса чужеродных веществ в ходе нормального функционирования. Так, проточностью обладают почвы гумидных ландшафтов. Проточность снижается биологическим поглощением элементов в экосистеме, и тем самым уменьшается ее устойчивость к загрязнению. Но в случае изъятия продукции (в агросистемах, например) проточность будет увеличиваться [8].

При прогнозе способности почвы к самоочищению необходимо учитывать те процессы и свойства, которые увеличивают ее проточности. Следовательно, для оценки почв по устойчивости к техногенезу важно знать особенности их водного и теплового режима, сорбционные свойства почв, свойства и биохимическую активность гумусового горизонта, который, как пишет М.А. Глазовская, принимает на себя первый удар техногенного давления.

2.1 Геохимическая устойчивость почв (устойчивость к техногенезу)

Условия миграции тяжелых металлов и других продуктов техногенеза в почвах тесно связано с щелочно-кислотными и окислительно-восстановительными условиями, характером органического вещества почв. В связи с этим при любых оценочных исследованиях по устойчивости почв к техногенезу необходимо определять положение данной почвы (или почв) в системе их геохимических ассоциаций (таблица 4).

Таблица 4 – Основные геохимические ассоциации почв (Глазовская, 1978)

Реакция почв	Окислительно-восстановительные условия		
	окислительные	периодически-восстановительные	восстановительные
Кислая по всему профилю	кислые субаэральные (ульматно-фульватные)	кислые оглеенные (ульматно-фульватные)	кислые глеевые
Кислая в верхней, слабощелочная в нижней части профиля	кисотно-щелочные субаэральные (фульватно-гуматные)	кисотно-щелочные оглеенные (фульватно-гуматные)	кисотно-щелочные глеевые
Нейтральные или слабощелочные по всему профилю	нейтральные субаэральные (гуматные)	нейтральные оглеенные (гуматные)	нейтральные глеевые
Щелочные и сильнощелочные по всему профилю	щелочные субаэральные	щелочные оглеенные	щелочные глеевые

Подвижность элементов и, следовательно, опасность их сохранения и накопления в почвах существенно зависят от реакции среды. В таблице 5 приведена оценка степени подвижности элементов с учетом их валентности в различных геохимических ассоциациях почв.

Опасность загрязнения почв зависит как от параметров, характеризующих геосистемы в целом (степень расчлененности и дренированности территории, величина поверхностного и грунтового стока, соотношение осадков и испарения), так и от свойств собственно почв, определяющих их водный режим (гранулометрический состав, водопроницаемость, наличие мерзлоты).

Таблица 5 – Подвижность биохимически активных микроэлементов в различных ассоциациях субэкральных почв (Глазовская, 1978)

Геохимические ассоциации почв	Подвижность элементов		
	подвижные	слабоподвижные	практически неподвижные
Щелочные и сильнощелочные субэкральные, pH 7,5 – 9,5	As ⁵ , S ⁶ , Mo ⁶ , V ⁵ ,	Cu, Cd, Zn, Ag,	Ba, Pb, Co
Слабокислые и нейтральные субэкральные, pH 5,5 – 7,5	As ⁵ , Zn, S ⁶ , V ⁵	Cu, Sr, Cr ³⁻⁶ , Ba, Cd, Mo ⁴ , Ni ²⁻³ , Hg, Co ²⁻³	Pb
Кислые субэкральные, pH < 5,5	Sr, Ba, Cu, Zn, Hg, S ⁶ , Cd,	Pb ²⁻⁴ , Cr ³⁻⁶ , Ni ²⁻³ , As ³ , Se ³ , V ⁴⁻⁵	Mo ⁴

Такого рода качественная оценка возможной опасности загрязнения может, как мы увидим в дальнейшем, служить основой для ранжирования тех или иных свойств при комплексной оценке устойчивости почв к антропогенным воздействиям. В качестве примера могут служить данные таблицы 6 [8].

Таблица 6 – Относительная опасность загрязнения подвижными биохимически активными элементами субэкральных почв (Глазовская, 1978)

Коэффициент увлажнения (Kh) и преобладающий тип водного режима	Гранулометрический состав и наличие мерзлоты			
	пески и супеси	суглинки	глины	различного гранулометрического состава с мерзлотой
< 0,5, резко непромывной	++++	+++++	+++++	—
1 – 0,5, непромывной	+++	++++	+++++	+++++
2 – 1, преимущественно промывной	++	+++	++++	++++
> 2, резко промывной	+	++	+++	+++
Примечание – Опасность загрязнения: + – очень слабая, ++ – слабая, +++ – умеренная, ++++ – сильная, +++++ – очень сильная.				

Аридизация климата, смена промывного типа водного режима непромывным, наличие мерзлоты в профиле существенно увеличивают опасность загрязнения почв и уменьшают способность почвы к самоочищению. Косвенным показателем типа водного режима может служить использованный в таблице 6 коэффициент увлажнения (Kh – отношение годовой нормы осадков к испаряемости). Тот же показатель можно вычислить и по сезонам, получив возможность выделить времена года благоприятные и неблагоприятные для самоочищения почв [8].

Накопление слабоподвижных форм биохимически активных элементов в почвах может идти также за счет таких процессов, как изоморфное замещение в решетке глинистых минералов (монтмориillonит > нонтроит > каолинит > галлуазит > иллит), сорбция элементов глинистыми минералами, соосаждение со свежевыпавшими полутораоксидами, особенно с оксидами железа, образование слабоподвижных металлорганических комплексов с гумусовыми кислотами (таблица 7).

Таблица 7 – Сравнительная опасность накопления биохимически активных элементов в почвах в слабоподвижных формах (Глазовская, 1978)

Содержание гумуса	Сорбционная способность почв		
	низкая	умеренная	высокая
	каолинит, галлуазит	иллит, смектит	монтмориillonит, аллофон, R_2O_3
Высокое	+++	++++	+++++
Среднее	++	+++	++++
Низкое	+	++	+++

Частной проблемой устойчивости почв к техногенезу является их способность противостоять действию кислотных осадков. Было показано, что степень проявления негативных процессов определяется характером и

емкостью систем буферности почвы в кислой области. В этой связи интегральным показателем устойчивости почв к действию кислых осадков может служить величина емкости катионного обмена (ЕКО). Качественная и количественная характеристики ЕКО определяются, прежде всего, генезисом почв. Поэтому типовая принадлежность в первом приближении определяет и приуроченность к разным группам устойчивости почв. Основные факторы, определяющие ЕКО в пределах типа или подтипов почв: механический состав, остаточная карбонатность почвообразующей или подстилающей пород, проявление признаков гидроморфизма.

Совокупное изучение почв, составляющих ряд геохимического сопряжения, и анализ эффективности геохимических барьеров на пути кислого внутрипочвенного стока позволяют дать в общих чертах прогноз устойчивости ландшафта к закислению и оценить характер неблагоприятных изменений в разных типах почв. Учет современного состояния атмосферы и прогнозируемых уровней поступления в нее поллютантов дает возможность прогнозировать направленность эволюции почв в результате антропогенного кислотного воздействия.

В качестве теоретической основы классификации почв по устойчивости и техногенным воздействиям, в частности к действию кислотных осадков, М.А. Глазовской (1990) было сформулировано два понятия: буферность почв – способность противостоять понижению значений рН при воздействии кислот, и устойчивость почв – способность их при понижении значений рН противостоять до определенных пределов разрушению поглощающего комплекса почв, диспергации коллоидов и суспензий и их выносу за пределы профиля, появлению в растворе токсичных соединений алюминия, железа, марганца и других микроэлементов [8].

М.А. Глазовская показала, что этот вид устойчивости почв контролируется их исходным кислотным состоянием, окислительно-восстановительным и водным режимом, запасами реактивоспособных

веществ, подавляющих не только повышение кислотности, но также и переход в мобильное состояние органических и минеральных соединений, образующихся при нейтрализации кислот. Была предложена система выделов почв, различающихся по уровню естественной кислотности, гранулометрическому составу, емкости поглощения, содержанию аморфных и окристаллизованных гидроксидов алюминия и железа и другим параметрам, которую можно использовать для матричных легенд карт устойчивости почв к действию кислотных дождей.

2.2 Роль леса в устойчивости почв

Проблема роли леса в экологической оптимизации ландшафтов и их устойчивости к антропогенным воздействиям обширна и интересна. Лесные насаждения сохраняют и восстанавливают гидрологические и химические свойства почв; они играют водорегулирующую роль, предотвращают загрязнение природных вод, ограничивают проявление водной и ветровой эрозии. Все это, несомненно, сказывается и на поддержании устойчивости почвенного покрова.

Почвоулучшающая роль леса весьма многогранна. Это и благоприятные для стабильности почвенного покрова изменения гранулометрического состава (более высокое содержание илистых частиц в верхних горизонтах почв под лесом, меньшая скелетность, меньшее содержание физического песка), и улучшение структуры почвы и ее водопрочности.

Поскольку противоэрозионная (механическая) устойчивость почв тесно связана с оструктуренностью, представляют интерес материалы по структурирующей роли лесной растительности по сравнению с сельскохозяйственными угодьями [8].

Поэтому оценка устойчивости почв по этому показателю будет существенно различаться на пахотных и лесных угодьях. В данном случае сказывается влияние и типа леса. Самая худшая структура и низкая водопрочность наблюдаются под еловым древостоем: бедность почв катионами кальция и железа, неблагоприятный состав опада и другие факторы. В целом же почвенные агрегаты лесных почв являются более водопрочными по сравнению с эродированными пахотными почвами. Наиболее водопрочная структура наблюдается в почвах под дубняками, осинниками и ясеневыми лесами.

Физико-химические свойства почв под лесной растительностью также существенно отличаются от окружающих их пахотных почв, особенно эродированных, что также отражается в изменении показателей параметров их устойчивости. Так, лесные почвы, как правило, более кислые и в меньшей степени обеспечены фосфором, калием за счет применения на пашне известкования и внесения минеральных удобрений. Но такой важный фактор устойчивости почв, как содержание гумуса, более благоприятен в лесных почвах; запасы гумуса и азота в почвах моренных ландшафтов на различных почвообразующих породах всегда выше.

На основании многолетних исследований в области распределения холмистых моренных ландшафтов на территории Литвы были разработаны нормативы лесистости, необходимой для поддержания экологической стабильности ландшафтов, и, следовательно, устойчивости к антропогенным воздействиям: для холмистых она составляет в зависимости от гранулометрического состава почв от 25 % до 40 %, для равнинных – от 1 % до 30 %, для территорий, сложенных песчаными эоловыми отложениями, – больше 40 %.

В таблице 8 приведены параметры оптимального размещения лесных массивов, обеспечивающих наибольшее экологическое разнообразие агроландшафтов, рациональные размеры полей, занятые сельскохозяйствен-

ными угодьями, способствующими созданию благоприятного микроклимата, снегозадержанию [8].

Таблица 8 – Параметры оптимального размещения лесных насаждений агроландшафта (Паулюкявичус, 1989)

Тип рельефа	Механический состав почв	Оптимальная площадь открытого пространства, га	Необходимая длина лесных опушек (экотонов), м	Оптимальное расстояние между лесными насаждениями, м
Холмистый	средние и тяжелые суглинки, глины	45 – 50	2500 – 2800	600 × 800
	пески, гравий, супеси	15 – 20	1200 – 1400	400 × 500
Равнинный	суглинки, глины	60 – 80	2300 – 2500	600 × 1000
	пески, гравий, супесь	30 – 40	1500 – 1800	500 × 800

Роль лесных массивов чрезвычайно велика и в устойчивости почв к техногенезу, так как в них происходит очищение внутрипочвенного и поверхностного стока от нитратов и других загрязняющих компонентов. Экспериментальные исследования показали, что в местах соприкосновения лесных насаждений с агроценозами накапливаются продукты водной эрозии и дефляции, происходит трансформация химического состава природных вод. Работами литовских ученых установлено, что при прохождении верховодки через лесную полосу шириной от 30 до 40 м содержание нитрат-иона снижается от 12,5 до 0,2 мг/л.

В связи с преобладанием горизонтального внутрипочвенного стока на значительной части территории таежной зоны роль лесной подстилки и верхних горизонтов почв трудно переоценить особенно в районах с интенсивным развитием карстовых процессов.

Наиболее важные параметры, относящиеся к характеристике лесной растительности, которые необходимо ранжировать при оценке относительной устойчивости почв таежной зоны, следующие: степень лесистости (%), тип леса (экспертная оценка), мощность и запасы подстилки (см или т/га), ее кислотность и буферность, емкость катионного обмена, биологическая продуктивность (годовой прирост в надземной и подземной сферах, ц/га), интенсивность разложения растительных остатков (подстильно-опадный коэффициент), скорость и емкость биологического круговорота веществ [8].

2.3 Проблемы сохранения устойчивости почвенного покрова в области распространения многолетнемерзлых пород

Техногенные нарушения поверхности территории (почвенно-растительного покрова) в области распространения многолетнемерзлых пород порождают и усиливают криогенные и другие процессы, изменяющие весь ландшафт, растительный и почвенный покров в нежелательном для человека направлении. Нарушение поверхности вызывает, прежде всего, изменение температурного режима почв и грунтов, которое способствует резкому ускорению криогенных процессов. В таблице 9 перечислены виды и причины техногенных механических нарушений.

О влиянии мерзлоты на интенсификацию процессов техногенного химического загрязнения почв было упомянуто в разделе 2.1 Геохимическая устойчивость.

Непосредственной причиной появления, усиления или ослабления криогенных процессов является изменение теплового баланса. Частичное нарушение или полное удаление мохово-торфяного покрова на севере Сибири увеличивает радиационный баланс поверхности на 5 % – 15 %, что

вызывает повышение среднегодовой температуры на $0,7^{\circ} - 2,0^{\circ}$ и увеличение глубины летнего протаивания почв в 2 – 3 раза. Интенсивность техногенного нарушения теплового баланса почв и грунтов в количественном отношении на несколько порядков больше, чем при естественных его изменениях [8].

Таблица 9 – Виды техногенных механических нарушений поверхности в области вечной мерзлоты и их причины (Граве, 1980)

Вид	Причины
Уплотнение и разрыв растительного покрова, уплотнение снежного покрова	Проезд тяжелого транспорта, легкие строительные работы
Уничтожение растительного, снежного покрова	Интенсивное движение тяжелого транспорта, особенно летом, бурение и эксплуатация скважин, устройство просек, расчистка снега на стройплощадках и на дорогах, легкие строительные работы, пожары, интенсивный выпас животных
Уничтожение почвенного покрова и торфяников, оголение минерального грунта	Интенсивное строительство с планировкой местности, сельскохозяйственное освоение территории с вырубкой и раскорчевкой леса, распашкой земли
Экспкавация и переотложение грунта, покрытие территории водой, осушение поверхности	Интенсивное строительство с ведением земляных работ и укладкой насыпей, дренажные и оросительные системы, горные работы открытым способом, дренажные полигоны водохранилищ
Нарушение цельности массивов горных пород	Подземная добыча полезных ископаемых (твердых, жидких, газообразных), устройство тоннелей и других подземных сооружений

Степень сопротивляемости антропогенным воздействиям существенно зависит от степени развития дернины или торфянистого горизонта, так как при малой мощности профиля в области распространения многолетней мерзлоты и его большой влагонасыщенности они играют существенную защитную роль. В зоне лесотундры и северотаежных редколесьях Западной Сибири на озерно-аллювиальной равнине, где развиты бугристые и плоские торфяники, подстилаемые мерзлыми песками и суглинками, удаление

мохового покрова при сохранении торфяного горизонта не приводит к заметному повышению температуры почвы и грунтов и глубины их протаивания; при удалении же торфяного слоя пески и суглинки протаивают глубоко и развивается термокарст, увеличивающий заболоченность территорий.

Наблюдения Хегинботтома на Аляске показали, что прокладка дорог и расчистка бульдозером территории без нарушения лесной подстилки не приводит к изменению характера протаивания почв и грунтов по сравнению с соседними ненарушенными участками леса. Если же нарушалась верхняя органогенная часть почвенного профиля, то протаивание существенно увеличивалось и происходило сползание почв и грунтов. В таежной зоне Западной Сибири вызывают серьезные последствия вырубки леса, уменьшение мощности и уплотнение снежного покрова на оголенных от растительности участках, в результате чего возникают техногенные ландшафты с характерными процессами пучения и морозобойного растрескивания. Там, где удаление растительности и почвы обнажает пески, происходит их протаивание и развевание сильными ветрами, вследствие чего на обширных пространствах возникают ландшафты техногенных пустынь или «песчаных арен».

Н.А. Граве (1980) было предложено следующее определение понятия устойчивости поверхности – это способность противостоять появлению или активации криогенных процессов (пучение, морозобойное растрескивание, термокарст, солюфлюкция) при техногенных воздействиях на поверхность осваиваемых территорий области вечной мерзлоты. Важными параметрами устойчивости, как мы видим из предыдущих материалов, служат защитные свойства почвенного и растительного покрова. В связи с этим при оценке устойчивости важно учитывать такие их параметры, как биологическая продуктивность, скорость биологического круговорота, мощность органогенного горизонта и запасы органического вещества [8].

Другой важный фактор, определяющий степень устойчивости почв в мерзлотных регионах, – наличие льда в почвенно-грунтовой толще: его количество, качество, характер залегания. Высокая льдистость почв и грунтов, наличие различных форм подземного льда при механических нарушениях поверхности и изменении теплового режима способствуют более активному проявлению таких процессов, как термокаст, солифлюкция (сползание грунта по склонам) и пучение. Предлагается несколько систем классификации мерзлотных грунтов по их устойчивости, учитывающих льдистость, наличие повторно-жильных и других типов льдов разной мощности. Так, при нулевой льдистости (сухая мерзлота) освоение территории возможно без какого-либо учета мерзлотности, до 20 % – учет льдистости необходим, от 20 % до 40 % – освоение региона должно вестись с учетом мерзлотного состояния, при льдистости более 40 % мерзлота при освоении должна быть сохранена. При мощности подземных льдов до 1 – 2 м – слабочувствительна, при мощности до 2 – 3 м – среднечувствительна, при мощности больше 4 м (мощные льды) – территория сильночувствительна к хозяйственному использованию.

Эти и другие виды классификации геосистем и почв по мерзлотному состоянию могут быть учтены при картографировании и при ранжировании степени их чувствительности и устойчивости к антропогенным воздействиям [8].

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определения устойчивости геосистемы.
- 2 Какие типы устойчивости вам известны? Дайте их характеристику.
- 3 Что такое проточность геосистемы?
- 4 Дайте характеристику геохимической устойчивости почв или устойчивости к техногенезу.
- 5 Факторы увеличивающие опасность загрязнения почв.
- 6 Какова роль леса в устойчивости почв?

7 Каким образом многолетняя мерзлота сказывается на устойчивости почв?

3 Почвенный экологический мониторинг: понятия, показатели, виды, объекты, методы

3.1 Понятия о почвенном экологическом мониторинге и его программе

Почвенный экологический мониторинг — система не ограниченного в пространстве и времени регулярного контроля почв, который дает информацию об их состоянии с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза его изменения в будущем, предупреждения и устранения последствий негативных процессов.

Особая роль почвенного мониторинга обусловлена тем, что все изменения состава и свойств почв отражаются на выполнении почвами их экологических функций, следовательно, на состоянии биосферы.

Предметом контроля почв являются, прежде всего, их изменения, вызванные деятельностью человека. Но многие неблагоприятные изменения свойств почвы могут формироваться естественным путем под влиянием природных факторов почвообразования, под влиянием катастрофических явлений в природе. Например, образование засоленных почв может быть следствием импัลверизации солей (принос ветром, импัลверизация — один из путей солеобмена между сообществами организмов и окружающей средой) или привноса их с грунтовыми водами. Это говорит о сложности выделения антропогенных последствий изменения контролируемых при мониторинге свойств почв. Имеет значение и то, что в почве в отличие от воздуха атмосферы и вод поверхностных водоемов, экологические

последствия антропогенные воздействия (например, загрязнения) обычно проявляются позже, но они более устойчивы и сохраняются дольше.

Программа мониторинга почв должна содержать перечень определяемых показателей, требования к выбору точек опробования и методов определения показателей, основания для оценки полученных уровней показателей и прогноза их изменения.

Методологическая основа мониторинга – принцип сравнительного сопоставления основных генетико-экологических параметров и характеристик почв (эталона и обследуемых) [4, 7].

Промедление с организацией и реализацией комплексного почвенного мониторинга может привести к весьма отрицательным последствиям.

Почвенный мониторинг позволяет своевременно обнаружить неблагоприятные тенденции и принять меры для предупреждения их дальнейшего развития или осуществления рекультивационных работ.

Комплексный почвенный мониторинг должен быть направлен на достижение главных целей:

- 1) своевременное (раннее) обнаружение неблагоприятных изменений свойств почв и почвенного покрова при различных видах его использования;
- 2) контроль за состоянием почв по сезонам года (динамика свойств) под сельскохозяйственными культурами для выдачи современных рекомендаций по применению регулирующих мероприятий.

На современном этапе важнейшими задачами почвенного мониторинга являются:

- 1) оценка среднегодовых потерь (скорости потерь) почвы вследствие дождевой, ирригационной и ветровой (дефляции) эрозии;
- 2) обнаружение регионов с дефицитным балансом главнейших элементов питания растений, обнаружение и оценка скорости потерь гумуса, азота и фосфора;
- 3) контроль за изменением кислотности и щелочности почв;

- 4) контроль за изменением солевого режима орошаемых и удобряемых почв;
- 5) контроль за изменением почв в результате глобальных выпадений из атмосферы загрязняющих веществ;
- 6) контроль за локальным загрязнением почв тяжелыми металлами в зоне влияния промышленных предприятий и транспортных магистралей, а также пестицидами в регионах их постоянного использования, детергентами и бытовыми отходами на территориях с высокой плотностью населения;
- 7) долгосрочный и сезонный (по фазам развития растений) контроль за влажностью, температурой, структурным состоянием, водно-физическими свойствами почв и содержанием в них элементов питания растений;
- 8) экспертная оценка вероятного изменения свойств почв при проектировании гидростроительства, мелиорации, внедрении новых систем земледелия и удобрений и др.;
- 9) инспекторский контроль за размерами и правильностью отчуждения пахотно-пригодных почв для промышленных и коммунальных целей [4].

3.2 Особенности почвы как объекта мониторинга

Организация почвенного мониторинга представляет собой задачу более трудную, чем мониторинга водных и воздушных сред по следующим причинам:

- 1 Почва является сложным объектом исследования, так как представляет собой биокосное тело, которое живет по законам и живой природы, и минерального царства.

- 2 Почва – многофазная гетерогенная полидисперсная термодинамическая открытая система, химические взаимодействия в ней происходят с участием твердых фаз, почвенного раствора, почвенного

воздуха, корней растений, живых организмов. Постоянное влияние оказывают физические почвенные процессы (перенос влаги и испарение).

3 Опасные загрязняющие почвы химические элементы Hg, Cd, Pb, As, F, Se являются природными составляющими горных пород и почв. В почвы они поступают из естественных и антропогенных источников, а задачи мониторинга требуют оценки доли влияния лишь антропогенной составляющей.

4 Практически постоянно в почву поступают различные химические вещества антропогенного происхождения.

5 Природное пространственное и временное варьирование содержаний химических веществ в почвах велико, что нередко определяет трудность установления степени превышения исходного уровня содержания химических веществ в почвах [8].

Методология мониторинга любой природной среды определяется как специфическими свойствами каждой из сред, так и ее экологическими функциями. Значимость экологических функций почв обуславливает специфические особенности экологического мониторинга почв, его отличие от мониторинга других природных сред.

Почвенный мониторинг должен обеспечить, прежде всего, контроль выполнения почвой ее утилитарных функций (плодородие, протекторная функция – защитная, медико-экологическая).

Обнаруживается некоторое противоречие в оценке выполнения почвой ее разных экологических функций. С одной стороны, почва, защищая от загрязнения воду и воздух, поглощает загрязняющие вещества. С другой стороны, поглощенные почвой вещества могут отрицательно влиять как на количество получаемого урожая (на плодородие почв), так и на качество (загрязнение) урожая. Поэтому, с экологической точки зрения важно оценивать не только то, как много почва удерживает загрязняющих веществ, но и как прочно она их удерживает. Прочная фиксация поллютантов обеспечивает выполнение почвой ее защитной функции в отношении и вод, и

воздуха, и растений. Непрочное удерживание загрязняющих веществ почвенными компонентами может вести к созданию опасной экотоксикологической обстановки. Если при мониторинге вод и воздуха эффективны показатели общего содержания загрязняющих веществ в их составе, то при почвенном мониторинге необходимо оценивать как общее содержание этих веществ, так и содержание их подвижных (водно-миграционных и воздушно-миграционных) соединений.

Все это говорит о том, что при экологическом мониторинге почв контроль выполнения почвой всех названных функций почвы должен быть комплексным [4].

3.3 Показатели почвенного экологического мониторинга

Индикаторами мониторинга называют показатели почвы, которые отражают их экологическое состояние, т.е. взаимосвязь с сопредельными средами и влияние на живые организмы. При оценке устойчивости экосистемы в отношении того или иного вида деградации они также считаются очень информативными.

К индикаторам почвенного экологического мониторинга предъявляют следующие требования:

- они должны быть информативными в отражении состояния почв как компонента экосистемы;
- чувствительными к смене экологической обстановки;
- методы аналитического определения доступными;
- должны обеспечивать правильность и воспроизводимость результатов их аналитического определения, обеспечивающие сопоставимость данных.

От вида деградации почв, прежде всего, зависит выбор почвенных показателей состояния почв. Имеет значение и природа изменчивости контролируемых свойств почв. При любых видах деградации почвенный мониторинг предполагает определение трех групп показателей:

1) показатели ранней диагностики развития негативных изменений свойств почв. Определяются в биологических тестах, микроморфологических наблюдениях, анализах кислотно-щелочного, окислительно-восстановительного и водно-солевого режимов почвы.

2) показатели, проявляющиеся в течение 2 – 5 лет; характеризуют сезонные или краткосрочные изменения свойств почв. Эти показатели используются для оценки текущего состояния почвенного покрова в связи с прогнозированием урожайности; позволяют дать рекомендации по сезонному поливу, внесению пестицидов и удобрений и другим мерам повышения урожая текущего года. Диагностика краткосрочных изменений проводится по содержанию доступных растениям питательных веществ, величине pH, динамике влажности, дыханию почв, составу почвенных растворов;

3) показатели, проявляющиеся в течение 5 – 10 лет и более – долгосрочные. Они отражают неблагоприятные тенденции изменения свойств в результате загрязнения. Диагностика долгосрочных изменений проводится по периодическим измерениям отношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, содержания и запаса гумуса, определению эрозионных потерь почвы, структурного состояния, состава обменных катионов, кислотности, общей щелочности, содержания солей;

Для мониторинга почв, подверженных разным видам деградации, разработаны конкретные показатели, отражающие изменения почв, вызванные каждым из видов деградации [4].

3.4 Объекты почвенного экологического мониторинга

Объекты наблюдения при проведении почвенного экологического мониторинга должны обеспечить выявление различных видов и уровней неблагоприятных изменений состояния почв, вызванных проживанием людей на земле и всеми видами их хозяйственной деятельности при обязательном учете специфических природных условий, влияющих на последствия антропогенного воздействия.

Перед выбором пробных площадей и точек опробывания необходимо проводить анализ всех антропогенных факторов, способных влиять на состояние почв и экосистемы в целом.

Он позволит конкретно выявить специфический характер воздействия этих факторов на почвы и сопредельные среды (интенсивная эксплуатация почв и утрата почвами элементов питания, уплотнение почв тяжелой техникой, загрязнение атмосферы твердыми, жидкими, газообразными отходами, почв, вод и прочее). Такой анализ позволит определить вид планируемого экологического мониторинга. Тесно взаимосвязаны вид антропогенного воздействия, контролируемые показатели состояния почв, вид почвенного мониторинга и выбор пробных площадей, почвы которых отражают нарушения в экосистеме и их последствия.

Нарушения, вызванные антропогенным воздействием, зависят от удаленности от источника воздействия. Часто при обследовании выявляются зоны интенсивной деградации почв и зоны распространения частично нарушенных почв (почвы буферной зоны). И те и другие должны быть включены в перечень объектов наблюдения [4].

Для обеспечения возможности следить за изменением анализируемых показателей во времени выбранные объекты мониторинга регистрируются и наносятся на карту (или картосхему).

Таким образом, объектами наблюдения при мониторинге, проводимом на всех уровнях, являются:

- минимально нарушенные (или ненарушенные) природные (заповедные) экосистемы;
- трансформированные частично естественные экосистемы (наиболее распространенные);
- собственно антропогенные, техногенные ландшафты, преобразованные человеком, утратившие полностью природные черты, которые можно назвать искусственными (растительность сведена, воды, почвы загрязнены).

Следует отметить, что успешный мониторинг состояния почв не может обойтись без использования эталона сравнения. В данном случае в это понятие вкладывается обозначение определенной условной точки отсчета в характеристике типичной почвы конкретного региона. Этот термин используется и в ряде других толкований – эталон как «почва-репер», или справочная почва, «эталон плодородия». Для целей мониторинга важно иметь характеристики исходного (начало наблюдений) состояния почв. На основании результатов анализа собранных материалов выбираются объекты мониторинга. Они должны отображать типичные природные экосистемы и агроэкосистемы и служить эталонами, где антропогенное влияние практически отсутствует или сведено до минимума, а также территории, в пределах которых присутствует очень высокое антропогенное давление. Для выбора объектов наблюдения необходимо использовать не только среднемасштабные и крупномасштабные почвенные карты, но и разнообразные картограммы (эродированности, засоленности, загрязнённости и т.п.), по которым устанавливается степень деградации почв.

Важным звеном мониторинга почв является выбор их свойств, которые должны подлежать контролю во времени с целью выявления изменений как природных, так и антропогенных. Показатели изменений могут быть

признаками начала развития негативных процессов, стойкой и необратимой деградации [9, 10].

3.5 Виды почвенного экологического мониторинга

На основе различий механизмов и масштабов проявления деградации почв выделяется две группы видов мониторинга, одну из которых представляют глобальный мониторинг, другую — локальный и региональный мониторинг почв.

Глобальный почвенный мониторинг — составная часть глобального мониторинга биосферы, он призван для оценки отражения в состоянии почв экологических последствий дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ в связи с опасностью общепланетарного загрязнения биосферы и сопровождающих его процессов глобального уровня (потепление климата) [4].

При глобальном мониторинге должно проводиться следующее:

- 1) характеристика потока контролируемых химических элементов на почвы фоновых территорий;
- 2) определение уровней контролируемых показателей состояния почв;
- 3) выявление зон миграции, аккумуляции, направления трансформации контролируемых химических элементов в почве;
- 4) определение скорости накопления контролируемых химических элементов в почвах фоновых территорий [8].

Выполняется в заповедниках, получивших от ЮНЕСКО статус биосферных, объектами наблюдения являются национальные станции глобального мониторинга. Результаты наблюдений обобщаются на международном уровне в соответствии с международными программами, так как контроль общепланетарного загрязнения не может проводиться разными

странами изолированно. Эффективность глобального мониторинга получила международное признание. Результаты его позволили обнаружить разрушение озонового слоя, определить масштабы трансграничного переноса веществ, выявить угрозу повышения содержания в атмосфере парниковых газов и глобального потепления. За этим последовало принятие ряда международных документов, обеспечивающих ограничение переноса поллютантов на большие расстояния. Большую тревогу экологов вызывает глобальное потепление климата. Это явление большинство ученых считают антропогенным и связывают с постоянно возрастающим сжиганием ископаемого топлива. Опыт работ по глобальному мониторингу показал, что глобальное (повсеместное) загрязнение почв металлами и металлоидами планете не угрожает. Об этом свидетельствует сопоставление общего содержания их в верхних слоях почвы и содержания подвижных соединений этих элементов с потоком их из атмосферы в биосферных заповедниках. Экологическая опасность глобального масштаба связана с дальним переносом газов антропогенного происхождения, в частности диоксида серы, и последующего их выпадения на земную поверхность.

Подсистемой глобального мониторинга является *фоновый мониторинг*. Как и фоновый мониторинг, глобальный мониторинг проводится в таких же условиях, как и фоновый мониторинг. Различия между этими двумя видами мониторинга состоят в использовании полученных данных: результаты фонового мониторинга используются как вспомогательные при проведении локального и регионального мониторинга.

Цель фонового мониторинга – получение сведений об эталонах, «нулевых точках отсчета» окружающей среды и выявление тенденции изменения их на фоновом уровне. Но в современных условиях общепланетарного загрязнения фоновые территории понимаются не как зоны отсутствия антропогенного воздействия, а как территории с проявлением такого воздействия в минимальной степени. Фоновый уровень содержания химических элементов в природных средах формируется как сумма

естественного их содержания почвах, а также их поступления за счет дальнего переноса. В качестве эталонов окружающей среды выбираются территории, в наименьшей мере подверженные локальному и региональному загрязнению.

Фоновое содержание химических элементов в почвах характеризуют разными способами:

- 1) как содержание химических элементов в датированных погребенных почвах;
- 2) как содержание химических элементов в музейных почвенных образцах с известными датами их отбора и анализа (при этом необходимо сопоставить использованные в настоящем и в прошлом методы анализа);
- 3) на основе обобщения данных в литературе о прежнем составе почв;
- 4) по составу глубоких почвенных горизонтов;
- 5) при проведении специального обследования фоновых почв.

Многие методические вопросы фонового мониторинга не решены. Так, на практике под фоновым чаще всего понимают содержание химических элементов в природных комплексах, удаленных от источников загрязнения. Но, как уже стало ясно, в природных объектах фоновых территорий обнаруживаются многие вещества, созданные человеком и несвойственные природе, что это свидетельствует об их дальнем переносе. Таким образом, так называемые «фоновые» показатели содержания загрязняющих веществ в реальности оказываются, по-видимому, несколько завышенными. Предлагаемый подход к изучению археологических памятников как памятников природы и объектов почвенно-экологического мониторинга позволяет в некоторой степени решить эту проблему. Дело в том, что под древними захоронениями (курганами) сохраняется до настоящего времени «законсервированный» участок палеоландшафта, сформированного еще в доиндустриальную эпоху. Такие почвы надежно изолированы от последствий атмосферного переноса поллютантов мощными (до 10 метров) насыпями, чего лишены почвы дневных поверхностей, включая и почвы биосферных

заповедников. Уровень накопления загрязняющих веществ в погребенных почвах отражает реальное и объективное их фоновое содержание [7].

Назначение *локального и регионального мониторинга* — выявление влияния деградации почв на экосистемы локального и регионального уровней и непосредственно на условия жизни человека в сфере его природопользования. Показатели локального и регионального мониторинга почв не единообразны.

Локальный мониторинг предполагает контроль за локальным накоплением в природных средах загрязняющих веществ, опасных для человека. Его называют еще санитарно-гигиеническим или импактным. Под санитарным состоянием почв понимается совокупность их физико-химических и биологических свойств, определяющих качество и степень безопасности почв в эпидемическом и гигиеническом отношениях. Локальный мониторинг предусматривает сбор и анализ первичной информации о загрязнении отдельных природных сред в конкретной местности под влиянием конкретного источника загрязнения и определенного вида его воздействия (загрязнение воды, воздуха или почв вблизи предприятия, стройки или мелиоративной системы). Размер территории, подлежащей контролю, измеряется, как правило, десятками километров. Локальный мониторинг проводится в небольших городах, в плотно заселенных районах с высокой производственной насыщенностью, подверженных воздействию промышленных предприятий, ТЭЦ, АЭС, газопромыслов и других видов производств. Технология этих производств определяет соответствующий состав выбросов и их комплексный характер. Это позволяет выявить приоритетные загрязняющие вещества, за которыми ведутся наблюдения по программам любого уровня мониторинга.

В населенных пунктах контроль проводят с учетом их функциональных зон. В первую очередь обследуются почвы территорий повышенного риска воздействия на здоровье населения (почвы окрестностей детских дошкольных, школьных и лечебных учреждений, селитебные территории,

зоны санитарной охраны водоемов, питьевого водоснабжения, земли сельхозугодий, рекреационные зоны) [4].

В рамках локального уровня мониторинга созданы пункты и сеть пробоотбора, определена периодичность наблюдений за состоянием окружающей среды, сроки выдачи информации, для всех этапов сформулированы общие требования. По результатам контроля в случае опасности молено приостановить производство, ликвидировать аварийную ситуацию.

Точки отбора проб почв располагают с учетом розы ветров, рельефа местности, растительного покрова и гидрологических условий, т.е. условий, которые обеспечивают распространение загрязняющих веществ от источника.

Вблизи источника частота размещения точек пробоотбора больше (на расстоянии 50, 100, 200, 300 м), с удалением от него частота снижается. При контроле загрязнения почв транспортными магистралями пробные площадки закладывают на придорожных полосах с учетом названных факторов. Пробы отбирают с узких полос длиной от 200 до 500 м на расстоянии от 0 до 10, от 10 до 50, от 50 до 100 м от полотна дороги с глубины от 0 до 10 см.

Региональный мониторинг проводится на территории, измеряемой несколькими сотнями и тысячами квадратных километров в крупных регионах, как правило, одного государства. Он может быть и международным и проводиться на территории нескольких государств, объединенных общими природными условиями (например, внутреннее море и его побережье). Основная задача регионального мониторинга: получение полной и детальной информации о состоянии окружающей среды региона и воздействии на нее антропогенного фактора, что невозможно сделать в рамках мониторинга любого другого уровня, которые не учитывают особенности каждого региона. Региональный мониторинг имеет дело с влиянием человека на природную среду в ходе его обычной производственной деятельности, при взаимодействии человека с природной

средой во всех его проявлениях (распашка, разведение и вырубка лесов, градостроительство, транспорт, промышленное производство, энергетика, сельское хозяйство и пр.). На этом уровне накапливается, обрабатывается и анализируется вся информация, поступающая от всех локальных пунктов слежения за состоянием окружающей среды. На основе комплексного анализа вырабатываются прогнозы развития ситуации и рекомендации по принятию решений для органов охраны природы.

Контроль осуществляется различными службами: гидрометеослужбой, агрохимслужбой, гидрохимической, лесоустроительной, сейсмологической и другими службами. Этот вид мониторинга И.П. Герасимов называл еще геосистемным, так как в основу контроля распространения загрязняющих веществ в регионе положены принципы распространения природных химических веществ в геосистеме.

Локальный и региональный мониторинг должен решать следующие задачи:

- 1) характеристика источника загрязнения и загрязняющих веществ;
- 2) определение уровней контролируемых показателей состояния почв, вод, растений на территории, подверженной действию источника загрязнения;
- 3) установление зон распространения почв с ухудшением контролируемых свойств;
- 4) определение характера действия загрязняющих веществ на почву, а также путей миграции, аккумуляции и направления трансформации загрязняющих веществ в почве;
- 5) оценка сопротивляемости почв загрязнению и возможности их самоочищения;
- 6) рекомендация мероприятий по снижению или ликвидации последствий загрязнения почв;
- 7) оценка экономического ущерба, нанесенного природе и сельскому хозяйству загрязнением почв [4, 7, 8].

Среди локального и регионального почвенного экологического мониторинга выделяют специфический, комплексный и универсальный виды мониторинга.

К специфическому мониторингу почв относят:

- а) мониторинг почв, подверженных загрязнению;
- б) мониторинг агрохимический.

Специфические виды локального и регионального почвенного мониторинга отличаются тем, что они направлены на выявление последствий деградации, прежде всего, химических свойств почв, с которыми связано прямое действие почв на живые организмы (недостаток питания для растений, токсическое действие загрязняющих веществ на живые организмы и передача его по пищевой цепочке). Существенных изменений физических свойств почв, их морфологии при этом может и не наблюдаться (или наблюдаться в крайних степенях их проявления, например, в техногенной пустыне сильно загрязненных и деградированных почв).

К комплексному виду мониторинга почв относят:

- а) мониторинг опустынивания;
- б) мониторинг пастбищ;
- в) ирригационно-мелиоративный.

Комплексные виды локального и регионального почвенного мониторинга направлены на выявление экологических последствий комплексной деградации почв, в основе которой лежат либо процессы деградации физических свойств почв, которые неизбежно сопровождаются деградацией их химических свойств (опустынивание, выбивание почв), либо начинаются с деградации химических свойств, которая влечет за собой изменения физических свойств (деградация орошаемых почв), что может отражаться и на их морфологических свойствах, на классификационном положении почв.

К универсальному виду мониторинга почв относят:

- а) контроль микробиологического состояния почв;

- б) контроль качества почв (бонитировка);
- в) дистанционный мониторинг почв.

Универсальные виды локального и регионального почвенного мониторинга позволяют получить интегральную оценку деградации почв, в основе которой лежит либо состояние почвенного микробоценоза, либо производственная оценка качества почв, либо ее «внешний вид сверху», характеризующий большие территории [4].

Иногда выделяют еще самый низкий уровень мониторинга – *мониторинг источников загрязнения (точечный мониторинг)*. Мониторинг источников загрязнения может быть частью подсистемы локального мониторинга, но может быть чисто технологическим. Это постоянные или эпизодические наблюдения за конкретным объектом-источником реального или потенциального загрязнения и регистрация уровней содержания загрязняющих веществ в зоне воздействия источника загрязнения. На практике, в случае почвенного мониторинга, речь, как правило, идет об отборе единичных почвенных образцов в санитарно-защитной зоне предприятия.

При мониторинге источников загрязнения определяется перечень подлежащих контролю веществ в соответствии со специализацией предприятия и конкретного состава его выбросов. Установление лимитов на выброс сводит этот вид мониторинга к контролю за соблюдением этих уровней, а также к изучению путей распространения загрязнения с учетом особенностей территории [7].

Контрольные вопросы

- 1 Что такое почвенный экологический мониторинг? Каковы его цели, задачи, предмет и методология?
- 2 Каковы особенности почвы как объекта мониторинга?
- 3 Что такое индикаторы мониторинга?
- 4 Перечислите требования, предъявляемые к индикаторам?

5 Охарактеризуйте группы показателей почвенного экологического мониторинга.

6 Что является объектом почвенного экологического мониторинга?

7 Охарактеризуйте глобальный, локальный, региональный, точечный экологический почвенный мониторинг?

8 Перечислите виды специфического мониторинга.

9 Перечислите виды комплексного мониторинга.

10 Перечислите виды универсального мониторинга.

11 Перечислите задачи мониторинга на локальном и региональном уровне.

4 Специфический почвенно-экологический мониторинг

4.1 Мониторинг почв, подверженных загрязнению

4.1.1 Показатели состояния почв, определяемых при контроле загрязнения почв

При обсуждении особенностей почвы как объекта мониторинга отмечается необходимость оценки способности почв как защищать от загрязняющих веществ воду и воздух, так и контролировать возможность их влияния на состояние живых организмов. Это служит основанием для выбора показателей состояния почв.

Среди контролируемых показателей состояния почв (индикаторов) различают две группы: биохимические и педохимические показатели.

К *биохимическим* относят показатели, характеризующие аккумуляцию в почвах самих загрязняющих веществ и возможность их непосредственного негативного влияния на живые организмы.

К этой группе относят:

а) общее содержание загрязняющих веществ;

б) содержание соединений загрязняющих веществ, обладающих как реальной подвижностью (вещества в почвенных растворах, в лизиметрических водах, в вытяжках), так и непосредственно связанных с ними потенциально подвижных соединений в составе твердых фаз почвы.

Показатели общего (валового) содержания в почве элементов характеризуют запас в почвах соединений этих элементов природного и техногенного происхождения. При оценке состояния загрязненных почв общее содержание химических элементов является показателем менее информативным, чем, например, при оценке загрязнения воды или воздуха.

Общее содержание химических веществ в почвах — важный показатель для получения первичной оценки состояния почв в ходе проведения мониторинга.

Содержание подвижных соединений контролируемых элементов в составе твердых фаз почвы характеризует потенциальную опасность этих веществ для экосистемы, способность веществ переходить из почв в растения, в почвенные и грунтовые воды.

Результаты диагностики состояния почв с помощью этих показателей свидетельствуют об их информативности.

Для анализа чаще всего используют верхние слои почвы (от 0 до 2, от 0 до 5, от 0 до 10 см). Предметом анализа является также распределение загрязняющих веществ в почвенном профиле. Верхние горизонты почв играют роль геохимического барьера на пути потока веществ, поступающих из атмосферы. Эффективность этого барьера зависит от свойств почв и от природы самого вещества, его способности поглощаться почвой. В условиях промывного режима загрязняющие вещества могут проникать вглубь и накапливаться в иллювиальных горизонтах, которые также служат геохимическими барьерами.

К *педохимическим показателям* относят те свойства почв, изменение которых может быть вызвано загрязняющими веществами и которые могут косвенно отрицательно влиять на живые организмы.

С одной стороны, свойства почв, которые характеризуют эти показатели, могут изменяться под влиянием загрязняющих веществ и вызывать ухудшение состояния микроорганизмов и растений.

С другой стороны, изменение обсуждаемых химических свойств вызывает в почвах превращения загрязняющих веществ, которые влияют на их токсико-экологические свойства.

Если прямые показатели загрязнения информативны при оценке выполнения почвами их защитных функций в экосистеме, то косвенные показатели отражают способность почв обеспечивать плодородие.

К педохимическим показателям относятся показатели важнейших химических свойств почв: показатели гумусного состояния почв, кислотно-основных свойств, катионно-обменных, окислительно-восстановительных свойств почв и др.

Изменение гумусного состояния загрязненных почв связано с ухудшением состояния микробоценоза, что может приводить к ослаблению разложения органических остатков и к их накоплению, к снижению скорости минерализации гумуса. Вследствие трансформации органических веществ в почве меняется их групповой и фракционный состав. Вследствие изменения гумусного состояния возможно уменьшение емкости катионного обмена.

С загрязнением почв может быть связано изменение их кислотно-основных свойств. Причиной могут быть кислотные осадки, физиологически кислые удобрения. Повышение pH в техногенных почвах может происходить вследствие загрязнения их боратами, фторидами, сульфидами.

Изменение кислотно-основных условий существенно меняет многие химические процессы в почве:

1 Структура кислотности меняется. Увеличивается доля минеральных кислот по сравнению с органическими.

2 Меняется подвижность многих химических элементов, элементов питания, самих загрязняющих веществ:

а) в результате подкисления накапливаются аморфные формы Al и Fe, что связано с высвобождением Fe и Al из структуры алюмосиликатов, выпадением их в осадок;

б) за счет повышения растворимости соединений, содержащих азот, фосфор, калий происходит изменение подвижности элементов питания;

в) изменяется мобилизация соединений металлов и неметаллов.

3 Кислотность влияет на формирование подвижных соединений поллютантов. От кислотности раствора зависят форма нахождения, знак и величина заряда частиц в растворе, заряд коллоидных частиц, на поверхности которых происходит поглощение загрязняющих веществ, растворимость осадков соединений поллютантов.

4 Форма нахождения, знак и величина заряда частиц в растворе являются важными факторами, обуславливающими и количество поглощенных почвенными частицами ионов, и прочность их фиксации.

5 Влияет на поглотельную способность почвы.

6 Кисотно-основные условия влияют на растворимость осадков, в состав которых входят загрязняющие вещества [4].

4.1.2 Выбор тестовых участков при контроле состояния загрязненных почв

Принципы выбора точек пробоотбора на фоновой и загрязненной территории различаются. Ландшафтные особенности района, а именно тип почвообразования, рельефа, растительности, тип почвообразующих пород определяют местоположение тестовых участков на фоновой территории. Почвенные и ландшафтно-геохимические особенности территории

определяют количество и расположение таких тестовых участков. Характер миграции элементов определяется родом геохимического ландшафта.

Наиболее распространены следующие три рода:

1-й род — плоские равнины с замедленным водообменом, слабым эрозионным расчленением или без него. Это приморские низменности, аллювиальные равнины, вулканические и другие плато. Местоположение тестового участка зависит только от свойств почвы.

2-й род — чередование плоских поверхностей со склонами. При этом поверхностный и подземный сток более энергичен. Это эрозионные возвышенности, расчлененные плато.

3-й род — склоновые участки, плоских поверхностей почти нет. Характеризуются энергичным водообменом. Горный и сильно холмистый рельеф.

Для ландшафтов 2-го и 3-го родов выбор зон для тестовых участков определяется ландшафтно-геохимическими условиями.

На загрязненной территории точки для отбора проб почв размещают на разном расстоянии от источника загрязнения и с учетом розы ветров. Частота размещения точек опробования больше вблизи источника загрязнения (50, 100, 200, 300 м) и сокращается по мере удаления. Необходимо учитывать розу ветров.

На тестовых участках проводятся регулярные и периодические наблюдения. На основе многолетних исследований установлено, что повторное определение подвижных форм контролируемых элементов целесообразно проводить через несколько лет (от 1 до 5). Периодичность определяется степенью промышленной освоенности территории, удаленностью от крупных загрязняющих объектов, особенностями контролируемого элемента [4].

4.1.3 Экологическое нормирование качества загрязненных почв

Задачей экологического мониторинга является оценка состояния окружающей среды на основе регулярных наблюдений. «Ценой» при этом являются нормативы качества окружающей среды. Цель экологического нормирования – сохранение экосистемы, ее структуры и функционирования.

За «нормальную» принимается среда, обеспечивающая требуемое качество жизни человека, среда, в которой значимые антропогенные нарушения отсутствуют во всех звеньях экосистемы.

Санитарно-гигиеническое нормирование состояния почв. Состояние окружающей среды, которое не оказывает отрицательного влияния на здоровье человека, называется «нормой». Санитарно-гигиеническим критерием качества окружающей среды служат предельно допустимые количества (ПДК) химических веществ в объектах окружающей среды. ПДК соответствуют максимальному содержанию химического вещества в природных объектах, которое не вызывает негативного (прямого или косвенного) влияния на здоровье человека (включая отдаленные последствия).

В 1925 году в нашей стране впервые определили ПДК загрязняющих веществ в воздухе рабочих помещений, что положило начало определению ПДК химических веществ. Первые ПДК для атмосферного воздуха были определены в 1949 году, для воды – в 1950-м. К 1971 году перечень контролируемых веществ в воздухе составлял 120 наименований. Более чем для 300 химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, и почти 1000 нормативов для вод были разработаны ПДК уже в 1989 году, а для почв разработаны около 30 ПДК химических веществ [4].

В зависимости от того как мигрируют химические вещества, различают четыре разновидности ПДКп:

1 ТВ – транслокационный показатель, характеризующий переход вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений.

2 МА – миграционный атмосферный показатель, характеризует переход вещества из почвы в атмосферу.

3 МВ – миграционный водный показатель, характеризует переход вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водоисточники.

4 ОС – общесанитарный показатель, характеризует влияние вредного вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценоз.

Определение ПДК химических веществ в почвах и других природных средах проводится в лабораторных условиях путем выявления взаимосвязи между состоянием живых организмов и содержанием химических веществ в окружающей среде (воде, воздухе, пищи).

Эксперимент ведется по типу: «доза – эффект», т.е. прослеживается изменение состояния опытных растений и животных при меняющемся уровне содержания различных химических веществ в среде. Установлено, что всегда существует зона оптимального содержания химических веществ в окружающей среде, обеспечивающего наиболее благоприятные условия для живых организмов. При отклонении от этой оптимальной области содержания химических веществ в сторону снижения содержания этих веществ (недостаточность элементов, обеднение ими среды) или в сторону повышения (избыточность элементов) всегда наблюдается нарушение и ухудшение состояния организмов, вплоть до их гибели.

Основным токсикологическим показателем является общий санитарный показатель, в качестве которого используется параметр ЛД₅₀ – доза химического вещества, которая вызывает гибель 50 % подопытных животных.

Основной недостаток этого норматива состоит в том, что:

1 Существует неопределенность в определении понятия ПДК химических веществ для почв. Оно характеризует ПДК, как ту концентрацию

вещества в почве, которая безопасна для живых организмов. Но критерии отрицательного влияния на них химических веществ не определены.

2 Не учтено время воздействия поллютанта. Чем более долгим был контакт вещества с организмом, тем ниже будет отклик организма.

3 При установлении ПДК моделируется действие на живые организмы, как правило, одного фактора, в крайнем случае двух или трех. Но в реальных условиях организм подвергается комплексному воздействию ряда факторов, совместное действие которых во внимание не принимается.

4 Выводы, полученные на основании опытов с животными, переносятся без полного основания на человека. Но низшие животные (особенно крысы, мыши) более устойчивы к факторам внешней среды, чем люди.

5 Не учитываются генетические последствия, возможность сохранения нарушений в живых организмах под влиянием химических веществ. Не учитываются индивидуальная, наследственная и видовая чувствительность организмов, их адаптационные возможности, биологические ритмы.

6 Не учтено, что многие поллютанты, например, тяжелые металлы, пестициды, обладают кумулятивным эффектом. Не учитывается способность химических веществ концентрироваться в трофической цепи. Химические вещества концентрируются в организме человека в большей мере, чем в организме животных, а те, в свою очередь, в большей мере, чем в растениях.

7 Не учитывается возможность трансформации химических веществ, их накопления на различных биогеохимических барьерах.

8 Не учитывается взаимодействие химических веществ. При различных видах взаимовоздействия возможно образование структур более опасных, чем исходные соединения.

9 Не оценивается в полной мере качество природных сред.

10 Не учитываются свойства почвы. Однако разработать ПДК для каждого типа почв невозможно [4].

В основе *биогеохимического нормирования* лежит медико-географический подход. Он основан на наблюдениях в таких регионах, где самой природой созданы условия избытка или недостатка тех или иных химических элементов естественного происхождения в природных средах. Эти регионы называются биогеохимическими провинциями, и результаты регулярных наблюдений в них за состоянием живых организмов, в том числе и за здоровьем людей, позволяют установить связь их с содержанием элементов в природных средах.

Выявлена связь между недостатком или избытком ряда элементов в природных средах и состоянием живых организмов, например, кобальтом и синтезом витамина B_{12} и, как следствие, анемией при акобальтозе (недостаток кобальта), Pb, Hg, Mo – и интоксикацией; F – флюорозом и другими костными заболеваниями; Cu, Zn, Mn, B – и хлорозом многих видов растений; I – и эндемическим зобом; Ni – и кожными заболеваниями; Se – и мышечной болезнью животных. Таким образом, состояние живых организмов в зоне биогеохимических провинций служит индикатором уровня содержания химических элементов в окружающей среде.

В биогеохимических провинциях определены те концентрации химических элементов в почвах, водах, растениях, выше и ниже которых нарушаются обменные процессы в живых организмах.

Проверкой эффективности используемого подхода может быть реакция живых организмов на исправление установленного дефицита добавкой дефицитного элемента.

Например, введение селенита животным из биогеохимической провинции не вызывало никаких отрицательных последствий, а введение животным из фоновых районов вело к нарушениям их состояния.

Статистическое нормирование состоит в определении усредненных (наиболее распространенных) уровней содержания химических элементов в природных средах в естественных условиях. Методически задача состоит в том, чтобы определить фоновые уровни содержания химических элементов в

почвах, учесть их природное варьирование, и отклонением от нормы считать значимое превышение верхнего предела возможных уровней [4].

К этой группе нормативов качества почв может быть отнесен показатель суммарного загрязнения почв Z_c . Рассчитывают его по формуле, предложенной Ю.Е. Саетом

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_i \right) - (n-1), \quad (1)$$

где Z_c – суммарный показатель загрязнения почвы;

n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию;

K_i – коэффициент концентрации загрязнения почвы, где

$$K_i = \frac{C}{C_\phi}, \quad K_i = \frac{C}{C_{ПДК}}, \quad (2)$$

где K_i – коэффициент концентрации загрязнения почвы;

C – общее содержание загрязняющих веществ;

C_ϕ – фоновое содержание загрязняющих веществ;

$C_{ПДК}$ – предельно допустимое содержание загрязняющих веществ.

Оценка степени опасности загрязнения почв по показателю Z_c , проводится по оценочной шкале, приведенной в таблице 10.

Таблица 10 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения (Z_c)

Категория загрязнения почв	Величина Z_c
Допустимая	1 – 8
Слабая	8 – 16
Средняя	16 – 32
Сильная	32 – 64
Очень сильная	64 – 128

Нормирование состояния загрязненных почв на основе концепции экологического риска. В связи с повышением числа катастроф природного и техногенного характера во всем мире повышается внимание к оценке риска, угрозы жизни человека, в том числе экологического риска. Определение понятия дано в ФЗ РФ об охране окружающей среды (2002): *риск* от химического загрязнения почв – это нежелательные для человека и почв последствия антропогенной деятельности, которые могут произойти с определенной долей вероятности. Понятие экологического риска связано с понятием опасности, крайней степенью проявления которой является экологическая катастрофа.

Зная реальную нагрузку загрязняющих веществ на почвы, их миграцию в ландшафте и учитывая устойчивость почв к загрязнению можно провести оценку экологического риска с обязательным учетом водного режима, типа почв, растительности, гранулометрического состава, положения в рельефе и почвообразующих пород.

По реакции чувствительных живых организмов, а именно микроорганизмов оценивается негативный эффект влияния высокой нагрузки на почвы.

Для нахождения ориентировочного показателя экологического риска для почвы нужны два показателя: общей химической нагрузки

загрязняющего вещества (или загрязняющих веществ) на почвенный покров и критической и нагрузки этих же поллютантов на эту территорию.

Общую химическую нагрузку (кг/га или т/га) находят по массе всех потоков вещества на данную территорию. Основными источниками их на пахотных почвах чаще всего являются атмосферные выпадения и средства химизации [4].

Критическая нагрузка – количество загрязняющего вещества максимально безопасное для того или иного ландшафта. Ее рассчитывают с учетом всех механизмов трансформации и перераспределения исследуемых веществ на данной территории (вынос из верхнего слоя за счет внутрипочвенной биогенной и абиогенной миграции, поверхностный сток в сопредельные среды и пр.), а также механизмов устойчивости почв данной территории (основываясь на поглотительной способности почв, что справедливо для загрязняющих веществ любой природы, на биотической и абиотической деструкции, что справедливо для органических поллютантов).

Показатель критической нагрузки можно получить разными способами:

а) экспериментально (при полевых наблюдениях, в лабораторных опытах), определив параметры всех процессов, влияющих на поведение исследуемых веществ в данных почвах или привлекая необходимые сведения из различных источников;

б) используя существующие программы, предназначенные для вычисления критических нагрузок конкретных загрязняющих веществ по вышеназванным показателям;

в) по критическому содержанию исследуемых веществ в продуктах растениеводства, выращенных на данных почвах;

г) опираясь на ПДК химических веществ в почвах, переведя их величины из мг/кг массы вещества в кг/га площади исследуемых почв.

Ориентировочный показатель экологического риска для почв можно найти как отношение общей химической нагрузки на почвенный покров к критической нагрузке этих веществ на эту же территорию.

Классификация риска загрязнения почв приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Классификация риска загрязнения почв (по Овчинниковой, 2003)

R_j	Категория риска	Опасность загрязнения почв
< 1	Незначительный	Отсутствует
1 – 10	Условно допустимый	Незначительная
10 – 30	Условно допустимый	Очень низкая
30 – 70	Условно допустимый	Низкая
70 – 100	Недопустимый	Умеренная
100 – 250	Недопустимый	Умеренно высокая
250 – 500	Недопустимый	Высокая
500 – 800	Недопустимый	Экстремальная
800 – 1000	Недопустимый	Предкризисная
> 1000	Недопустимый	Кризисная

Нормирование на основе концепции экологического риска имеет прямой выход в практику, так как позволяет учитывать опасность загрязнения почвы при расчете кадастровой стоимости, при этом, чем выше риск загрязнения земель, тем ниже ее стоимость [4].

Экосистемное нормирование. Главным является тезис о том, что нормальным состояние экосистемы может быть только при сохранении целостности экосистемы, при обеспеченности сохранности биогеохимических циклов всех химических элементов в экосистеме.

Экосистема – это сложноорганизованная система, которую можно представить как сочетание плотно упакованных экологических ниш. При поражении одних организмов, при снижении активности их деятельности

освободившиеся ниши заполняются более толерантными видами. Это ведет к сглаживанию эффекта воздействия, к снятию порогов. Это нормирование не допускает не только патологических, но и предпатологических изменений. Цель экосистемного нормирования состоит в том, чтобы сохранить природу в таком состоянии, когда все живые организмы имеют равное право на существование. Такой подход обеспечит сохранение и человека как компонента экосистемы.

При экосистемном подходе нужно принимать во внимание не только токсическое действие химического вещества. Следует оценивать и другие возможные виды нарушения экосистемы, такие как сокращение видового разнообразия, изменение отдельных групп биоты, выпадение из экосистемы видов — доминантов, изменение величины продуктивности, упрощение трофической цепи, уменьшение ассимиляционной емкости экосистемы и ее способности к самоочищению, разрушение экосистемы.

Под *ассимиляционной емкостью* понимается количество загрязнителя, которое система способна воспринять (ассимилировать) без нарушения закономерностей ее функционирования. При ее расчете принимаются во внимание все потоки вещества: его поступление из разных источников, вынос за пределы системы, сорбция почвенными компонентами, перевод в нерастворимые формы, биотическая и абиотическая деструкция и др.

Выбор показателей, контроль которых проводится при экосистемном нормировании, зависит от того, на каком уровне организации экосистемы оцениваются изменения [4].

4.2 Агрохимический мониторинг почв

Контроль обеспеченности почв питательными элементами для растений составляет задачу агрохимического мониторинга. Единая государственная агрохимическая служба была создана в нашей стране в 1964 году. Государственные центры агрохимической службы проводят контроль обеспеченности почв подвижными формами азота, фосфора и калия, микроэлементами, мониторинг гумусного состояния.

Важным этапом агрохимического мониторинга является выполнение балансовых расчетов с учетом выноса химических элементов с урожаем. На основе этого рассчитываются дозы минеральных и органических удобрений для восполнения выноса элементов питания растений и поддержки эффективного плодородия почв на необходимом уровне.

На современном этапе в задачи государственных центров агрохимической службы входит и оценка загрязнения пахотных земель тяжелыми металлами, в связи с чем, параллельно с агрохимическим картированием проводится крупномасштабное картографирование почв с целью их эколого-токсикологической оценки на содержание тяжелых металлов, мышьяка и фтора. Оценка проводится в соответствии с уровнями ПДК и ОДК этих элементов для почв.

Обследование земель с целью оценки загрязнения проводится с 1991 года в подразделениях агрохимслужбы [4].

Таким образом, основными задачами агрохимического мониторинга состояния земель являются:

- своевременное выявление изменений состояния плодородия сельскохозяйственных угодий;
- их оценка, прогноз на перспективу и принятие необходимых мер по сохранению и улучшению плодородия почв;

– разработка рекомендаций по эффективному использованию земель сельскохозяйственного назначения, предупреждению и устранению последствий негативных процессов.

Результаты агрохимического обследования используются при разработке технологий, рекомендаций и проектно-сметной документации по применению средств химизации, а также научно обоснованном определении потребности и распределении минеральных удобрений на всех уровнях управления сельскохозяйственным производством, при сертификации почв земельных участков и грунтов, при кадастровой оценке земель.

Агрохимическому обследованию подлежат почвы всех сельскохозяйственных угодий ассоциаций крестьянских хозяйств, колхозов, сельскохозяйственных кооперативов, акционерных обществ, государственных и муниципальных предприятий, подсобных сельскохозяйственных предприятий, опытных хозяйств сельскохозяйственных научно-исследовательских и учебных заведений, прочих предприятий, организаций и учреждений, крестьянских (фермерских) хозяйств, фонда перераспределения земель района, сельскохозяйственные угодья сельских и районных (городских) администраций вне черты городских и сельских поселений, занимающихся сельскохозяйственным производством.

Агрохимическое обследование проводят на всех типах сельскохозяйственных угодий – пашня (в том числе орошаемая и осушенная), кормовые угодья (сенокосы и пастбища), многолетние насаждения, плантации и залежь.

Агрохимическое обследование почв проводится экспертами по сертификации почв земельных участков, специалистами отделов почвенно-агрохимических изысканий Государственных, республиканских, краевых, областных центров (станций) агрохимической службы.

Перечень определяемых агрохимических показателей регламентирован ОСТами 10 294-2002 и 10 297-2002. Также предусматривается включение дополнительно во всех природно-сельскохозяйственных зонах показателей

степени подвижности фосфора и калия, валового содержания азота, поглощенных оснований Ca, Mg, K, и Na, а также разовое определение валового содержания фосфора, калия, кальция, магния и серы. В степной зоне в связи с подкислением почв предусмотрено определение кислотных свойств. В солонцовых и засоленных почвах предусмотрены анализ водной вытяжки, определение степени и качественного состава засоления.

Периодичность проведения:

- для хозяйств, применяющих ежегодно более 60 кг/га по каждому виду минеральных удобрений (азотные, фосфорные, калийные), – 5 лет, менее 60 кг – соответственно через 6 – 7 лет;
- для орошаемых и осушенных сельскохозяйственных угодий, а также для госсорт-участков, опытных и экспериментальных хозяйств НИИ и сельскохозяйственных учебных заведений (независимо от объемов применяемых удобрений) – 3 года;
- по заявкам хозяйств на договорной основе допускается сокращение сроков между повторными обследованиями.

Таким образом, агрохимическое обследование является основой для разработки оптимальной системы удобрений для сельскохозяйственных культур каждого хозяйства, что в конечном итоге ведет к экономии его средств (затрат на удобрения), повышению плодородия почвы и урожайности возделываемых культур [11].

Контрольные вопросы

- 1 Охарактеризуйте биохимические и педохимические показатели мониторинга загрязненных почв.
- 2 Назовите роды геохимического ландшафта.
- 3 Каким образом размещают точки для отбора проб на загрязненной территории?
- 4 В чем состоит суть экологического нормирования? В чем его недостатки?

5 Что такое предельно допустимая концентрация?

6 Охарактеризуйте биогеохимическое, статистическое и экосистемное нормирование.

7 Дайте характеристику нормирования состояния загрязненных почв на основе концепции экологического риска.

8 Охарактеризуйте агрохимический мониторинг.

5 Комплексный почвенно-экологический мониторинг

5.1 Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию

Опустынивание – деградация экосистемы в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах, обусловленная совместным влиянием климата и деятельности человека.

Регионы засушливых земель согласно классификации ЮНЕСКО (1977) определяются следующими количественными показателями:

1) супераридные территории – годовые осадки менее 100 мм, отсутствует растительность за исключением эфемеров и кустарников по руслам водотоков; земледелие и животноводство невозможны, за исключением оазисов. Это настоящие пустыни с индексом аридности 0,03;

2) аридные территории – годовые осадки от 100 до 200 мм, скудная, разреженная и однолетняя растительность; земледелие возможно при орошении, а скотоводство лишь кочевое; индекс аридности от 0,03 до 0,2;

3) семиаридные территории – годовые осадки от 200 до 400 мм; полупустынная и кустарниковая растительность с прерывистым покровом; возможно неустойчивое богарное земледелие и развитое пастбищное животноводство; индекс аридности от 0,2 до 0,5.

Процесс современного антропогенного опустынивания интенсивно прогрессирует в аридных и семиаридных регионах. Если естественные для этой природной зоны засуха и суховеи – это уже серьезное бедствие для почв, и без того бедных питательными веществами, то антропогенная нагрузка оказывается зачастую для них губительной. Опустынивание в аридной зоне проявляется многогранно: как усиление ветровой и водной эрозии почв, утрата почвами верхних горизонтов, снижение стабильности почвенной структуры, сопровождающееся образованием корок на поверхности, усиление поверхностного стока, снижение фильтрации и водоудерживания, как замена лесов и древесной растительности вторичной саванной и кустарниками, рост нестабильности объема и скорости потока местных рек и ручьев, рост минерализации изначально пресных вод в озерах, реках и болотах, засоление почв, как общее снижение видового разнообразия и биомассы растительных сообществ.

Главными формами деградации почв при опустынивании являются ветровая эрозия (пастбища и богарные сельскохозяйственные территории), ирригационная эрозия, засоление земель.

Антропогенная деятельность, способствующая опустыниванию: экстенсивное земледелие, перевыпас скота, сведение лесов, нерациональное ведение хозяйства на поливных землях.

Опустынивание – это снижение или разрушение биологического потенциала земли, которое в конечном итоге может привести к условиям пустыни.

Антропогенное опустынивание территорий мира в настоящее время является одной из наиболее опасных и тяжелых по своим последствиям глобальных экологических проблем, угрожая ресурсной базе развития современного и грядущих поколений. Стал очевидным рост интенсивности процесса, превращение локального процесса в региональный, в глобальный процесс [4].

Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию, имеет три взаимосвязанных направления: социально-экономический, санитарно-гигиенический и экологический.

Требование комплексности — основное при проведении этого вида мониторинга. Понимание динамики природных систем при опустынивании невозможно без контроля всех факторов, условий и результатов опустынивания. Воздействие на какой-либо из компонентов этой сложной динамической системы с разветвленной структурой взаимных связей может приводить к изменению всей системы в целом. Почва — основной регулятор энерго- и массопереноса в аридных системах, и организация почвенно-экологического мониторинга при опустынивании требует систематических наблюдений не только за процессами, ведущими к деградации собственно почв, но и за теми почвенными свойствами, процессами и режимами, которые регулируют состояние других компонентов ландшафта и могут свидетельствовать о его деградации. Необходима организация мониторинга всех показателей опустынивания: климатической, почвенной, растительной, гидрологической и геоморфологической. Этому требованию отвечает выбор индикаторов опустынивания.

Основным, базовым индикатором опустынивания мог быть показатель снижения запасов (прироста) биомассы, т.е. индикатор конечного результата. Но он один не отражает все разнообразие причин и особенностей процессов, а они важны для принятия решений. Поэтому выделяют три группы индикаторов, из которых важнейшим являются почвенные.

Система индикаторов опустынивания предложена в 1978 году, в дальнейшем она была положена в основу международных схем индикации и мониторинга опустынивания. Индикаторами опустынивания служат наиболее информативные количественные и качественные показатели состояния природной среды, определение которых возможно провести доступными методами и может быть воспроизведено, а результаты могут быть контролируемы.

В этой схеме выделяют три группы индикаторов опустынивания: почвенно-геохимические и гидрологические-физические), биологические и социальные.

Физические индикаторы опустынивания (почвенно-геохимические и гидрологические):

- 1) неблагоприятные климатические процессы, например, количество песчаных и пыльных бурь и т.д.;
- 2) изменение качества грунтовых вод, их глубины залегания и дебита;
- 3) степень и формы развития процессов эрозии и дефляции;
- 4) изменение стока паводковых вод и объема твердого стока;
- 5) изменение мощности почвы в корнеобитаемом слое и содержание в ней гумуса;
- 6) степень засоления и осолонцевания почвы;
- 7) образование различного рода корковых и панцирных покровов почв.

Биологические индикаторы опустынивания. Растительность:

- 1) соотношение климаксных и внедрившихся растительных видов;
- 2) соотношение ксерофильных и мезофильных видов;
- 3) степень проективного покрытия растениями поверхности почвы – густота растительного покрова;
- 4) биологическая продуктивность и урожай кормов.

Животные:

- 1) основные виды;
- 2) поголовье домашнего скота;
- 3) численность животных;
- 4) структура популяций;
- 5) особенности размножения;
- 6) вторичная продукция.

Социальные индикаторы опустынивания:

- 1) системы землепользования (поливное земледелие, богарное земледелие, скотоводство, заготовка и вывоз сырья, туризм и т. д.);
- 2) структура расселения;
- 3) биологические параметры населения;
- 4) параметры социальных процессов.

При мониторинге опустынивания часто пользуются такими понятиями, как характер, скорость (темпы), степень и глубина опустынивания.

Термин *«характер опустынивания»* применяют для указания на ведущие причины опустынивания и вызываемые ими процессы опустынивания, что является основой для выделения типов опустынивания.

Под *степенью опустынивания* подразумевают степень приближенности условий меняющейся природной среды к пустынным условиям.

Термин *«глубина опустынивания»* отображает соотношение обратимых и необратимых изменений природной среды в результате опустынивания.

Термином *«скорость (темпы) опустынивания»* обозначают изменение во времени различных индикаторов опустынивания.

При мониторинге опустынивания по предложенным индикаторам необходимо учитывать, что ни один из параметров, взятых в отдельности, не является специфическим, хотя и может сопровождать его в разных конкретных ситуациях и сочетаниях. Например, снижение биологической продуктивности, если оно сопряжено не с аридизацией суши, а является следствием временных засух, не может рассматриваться в качестве диагностического индикатора опустынивания. Необходим комплексный подход в использовании предложенных индикаторов.

Точно так же нет оснований ставить диагноз об опустынивании и на орошаемых почвах, даже если при этом идет деградация за счет засоления, осолонцевания и т.д. Опустынивание этих земель может произойти лишь после забрасывания или исключения их из орошаемого земледелия. Однако

эти процессы могут стать причиной опустынивания в будущем и должны рассматриваться при мониторинге в связи с оценкой риска или потенциальной возможности опустынивания.

Информационная база почвенно-экологического мониторинга опустынивания должна включать не только параметры, оценивающие состояние почв в процессе опустынивания, но и те почвенные параметры, которые позволяют контролировать риск и устойчивость почв и экосистем к опустыниванию.

Опасность опустынивания определяется в первую очередь общей засушливостью или аридностью климата территории. Устойчивость экосистем к опустыниванию связана с комплексом исходных условий опустынивания. Скорость и степень воздействия опустынивания на экосистемы засушливых территорий определяется балансом существующей на данный момент времени опасности и устойчивости к опустыниванию. В общем виде можно констатировать, что если суммарное воздействие действующих факторов и агентов опустынивания превышает устойчивость ландшафта, то наступает опустынивание, скорость и степень которого зависят от величины этого превышения.

Итак, для мониторинга ландшафтов, подверженных опустыниванию, необходима организация систематических наблюдений за всеми компонентами ландшафта. Детальные результаты могут быть получены при углубленных исследованиях отдельных составляющих опустынивания (климатической, почвенной, биологической, гидрологической, геоморфологической) и их совместном использовании.

По результатам мониторинга опустынивания, по данным дистанционного зондирования составлена карта опустынивания Российской Федерации в масштабе 1 : 2 500 000. На карте отражено, что на территории РФ наиболее распространены следующие антропогенные причины опустынивания:

- 1) подъем уровня грунтовых вод вследствие строительства водохозяйственных сооружений и длительного орошения земель;
- 2) орошение минерализованными водами;
- 3) геохимическая миграция солей к периферии орошаемых массивов; снижение геохимической отточности территории в результате заиливания русел;
- 4) иссушение поверхности, вызванное пастбищной дигрессией, а также опусканием уровня грунтовых вод в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем;
- 5) пастбищная дигрессия на почвах легкого и тяжелого гранулометрического состава (при повышенном гидроморфизме);
- 6) распашка почв легкого гранулометрического состава и тяжелого при повышенном гидроморфизме;
- 7) распашка солонцов и засоленных почв;
- 8) применение тяжелой техники на пахотных землях;
- 9) транспортные сбои в районах с густой сетью грунтовых дорог;
- 10) степные пожары;
- 11) сведение лесов;
- 12) техно- и урбогенные нарушения почвенного и растительного покрова.

Выявлены ведущие процессы опустынивания и отражены на карте опустынивания РФ: водная эрозия, формирование незакрепленных и развеваемых поверхностей, засоление, осолонцевание почв, уплотнение почв, подтопление, снижение продуктивности естественной растительности.

5.2 Оценка деградации почв пастбищ

Нерегулируемый выпас приводит к смене растительного покрова и, как следствие, к деградации почв. Явление это именуют пастбищной дигрессией. Развитие дигрессии зависит от видовых особенностей выпасаемых животных, интенсивности и длительности использования пастбищ, выносливости пастбищной растительности к вытаптыванию. Так, овсяница красная и клевер ползучий характеризуются исключительной выносливостью к вытаптыванию.

Г.Н. Высоцкий описывал следующие стадии пастбищной дигрессии:

- 1) господство ковылей;
- 2) типчаковая;
- 3) полынная;
- 4) однолетние эфемеры [12 - 14].

Г.В. Мотузова и О.С. Безуглова (2007) выделяют следующие этапы пастбищной дигрессии:

1 – 2 Очень слабое или отсутствует влияние выпаса. Стадия – исходный сенокос. Травостой высокий, верховые злаки сенокосного типа доминируют наряду с крупным и широколиственным разнотравьем. Это луга, на которых выпас и сенокошение повлияли слабо.

3 – 4 Влияние выпаса слабое, стадия – сенокосная. Разнотравье угнетается ранним сенокошением и выпасом, в результате развиваются злаки: кострец безостый, лисохвост луговой, овсяница луговая, тимофеевка.

5 Влияние выпаса умеренное, стадия – полупастбищная. Появляются пастбищные сорняки, а коренное разнотравье практически выпадает. Низовые злаки доминируют над верховыми сенокосными.

6 – 7 Влияние выпаса сильное, стадия – пастбищная. Доминируют стелющиеся бобовые (пустоягодник, клевер ползучий) и низовые пастбищные злаки (полевица белая, мятлик луговой, овсяница красная).

Разрастаются одуванчик, кульбаба, лапчатка гусиная, лютики (многолетние сорняки).

8 Полусбой. Травостой редет. Редко встречаются верховые злаки, сорные многолетние растения вытесняют пастбищные злаки. Появляются сорные однолетники – мятлик однолетний, пастушья сумка, спорыш (гречишка птичья). Нередко разрастаются чертополох, татарник.

9 Сбой. Сильно изреженный травостой, доминирует спорыш и другие однолетники.

10 Абсолютный сбой. Единичные растения на оголенной почве [4].

Такие дерновинные злаки как волосатик, типчак, ковыль Лессинга начинают выпадать даже при слабом выпасе. Задернованность степных сообществ при нарушении режима пастбы приводит к быстрому сбою ценных в кормовом отношении доминантов, внедрению в состав травостоя новых неперспективных видов. При умеренном выпасе – доминирует типчак, очень мало ковылей, почти выпадает высокорослое разнотравье. Заметна примесь полыней. При сильном выпасе начинает распространяться костер прямой, мятлик луковичный, молочай и пырей ползучий, доминируют полыни, почти выпадают дерновинные злаки. В результате образуются оголенные «скотьи тропы», а в горах на сильно выпасаемых склонах — лесенки, сделанные скотом, т.е. горизонтально пробегающие друг над другом тропинки. Как следствие вытаптывания возникают определенные сообщества с устойчивыми к нему видами. При дальнейшем беспорядочном чрезмерном выпасе образуются оголенные сбой, т.к. дернина разрушается. Сбой зарастает небольшим количеством мятлика, но доминируют спорыш, лебеда, чертополох, морутка [14 - 17].

По отношению к пастбищному режиму виды растений, встречающихся в степных сообществах, можно подразделить на три группы:

1) сокращающие свое обилие под влиянием выпаса (*Alyssum tortuosum*, *Stipa lessingiana*, *S. Rubens*, *Ssedum stepposum*, *Linocyris villosa*, *Hedysarum*

argyrophyllum, *Clausia aprica*, *Dianthus uralensis*, *Onosma simplicissima*, *Thymus guberlinensis*, *Orostachys spinosa*);

2) безразлично относящиеся к выпасу (*Potentilla humifusa*, *Astragalus tauricus*, *A. testiculatus*);

3) увеличивающие свое обилие под влиянием выпаса (*Polygonum aviculare*, *Androsace turczaninovii*, *Echinopsilon sedoides*, *Artemisia austriaca*, *Ceratocephalus orthoceras*, *Ceratocarpus arenarius*) [14, 18, 19].

Таким образом, растительные сообщества являются надежным индикатором характера и степени пастбищной дигрессии [14].

Под влиянием выпаса существенно изменяются свойства почв, прежде всего их физические свойства. Непременное следствие перевыпаса – уплотнение почвы, происходящее под влиянием копыт животных. Иногда уплотнение сопровождается сдвигом почвенной массы, особенно весной в период переувлажнения почвы. Значительная величина давления копыт передается на глубину до 8 – 12 см, глубже она ослабевает и на глубине 20 см составляет уже только 10 % – 20 % от исходной. Уплотнение почвы связано с уменьшением пористости, прежде всего межагрегатной, и ухудшением водно-воздушного режима. Существенно деградирует структура почвы, при этом не только увеличивается глыбистость почвы, но резко уменьшается водопрочность агрегатов. В меньшей степени проявляются отмеченные явления в высокогумусных почвах.

Изменение физических свойств почв сопровождается ухудшением химических свойств. Наиболее существенное изменение в результате перевыпаса – дегумификация почв. Связано это с тем, что перевыпас существенно меняет биологический круговорот в экосистеме, значительная доля надземной фитомассы поедается животными и не поступает в сферу гумификации. И хотя часть органического вещества поступает с экскрементами животных, но компенсации не происходит, к тому же экскременты распределяются по территории пастбища неравномерно. Вторая

причина дегумификации – эрозия почв. Выпас приводит к обеднению почвы питательными элементами.

На уплотнение почвы существенное влияние оказывает дернина. В случае хорошей выраженности она препятствует деформации почвы, и плотность меняется не столь сильно.

Поэтому контроль состояния экосистем, находящихся под пастбищной нагрузкой, и их почвенного покрова – ведущего фактора их устойчивости – обязательный элемент контроля состояния природной среды.

Наличие дернины у почв и пастбищ и ее состояние – легко определяемый морфологический признак почв, поэтому его удобно использовать при оценке состояния почвенного покрова пастбищ. Так, для почвенного покрова пастбищ Центрального Кавказа Нинуа предложены следующие простые критерии, группирующие почвы по стадиям дигрессии:

1 Дернина в нормальном состоянии, нет механических повреждений, нет проявления эрозии.

2 Механические повреждения дернины, гумусовый горизонт местами оголен.

3 Остатки дернины занимают значительные площади, лишенная дернины часть почвы существенно эродирована.

Дополнительный, легко контролируемый морфологический признак для горных пастбищ – наличие и густота сети скотобойных троп, так называемая «тропинчатость». Скотобойные тропы способствуют формированию поверхностного стока и развитию водной эрозии. Кроме того, они резко снижают продуктивность пастбищ, исключая значительную часть почвенного покрова из сферы формирования биологической продукции. Зотов и др. предлагают в качестве диагностического признака состояния пастбищ использовать долю площади тропиной сети в общей площади пастбища (таблица 12).

Таблица 12 – Состояние пастбищ в зависимости от их тропинчатости

Состояние пастбищ	Доля площади скотобойных троп
Слабо сбитые	< 10
Средне сбитые	10 – 25
Сильно сбитые	25 – 50
Очень сильно сбитые	> 50

В целом набор показателей почвенно-экологического мониторинга горных пастбищ следующий:

- структура фитомассы, ее запасы, видовой состав;
- проективное покрытие;
- наличие степного войлока (подстилки) и его мощность;
- задернованность поверхности почвы;
- плотность почвы;
- структурное состояние почвы (содержание агрономически ценных отдельностей и их водопрочность);
- содержание, запасы и состав гумуса;
- содержание элементов питания (N, P, K);
- мощность гумусового горизонта;
- наличие линейных эрозионных форм и их размеры.

Контроль этих показателей следует проводить 1 раз в 3 – 5 лет, иногда чаще. При отсутствии организационных структур почвенно-экологического мониторинга в горах определение его показателей можно проводить при агрохимическом обследовании территории. Состав гумуса следует контролировать реже – 1 раз в 5 – 10 лет, также согласуя сроки с периодичностью агрохимического обследования [4].

5.3 Ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг

Этот вид мониторинга направлен на контроль состояния орошаемых земель. Ирригационно-мелиоративный мониторинг возложен на государственную гидрогеолого-мелиоративную службу (ГГМС).

Основные задачи службы мелиоративного контроля следующие:

- 1 Прогноз направленности почвенно-мелиоративных процессов.
- 2 Оценка мелиоративного состояния орошаемых земель, эффективности мелиоративных мероприятий, достоверности почвенно-мелиоративных прогнозов и расчетов.
- 3 Разработка эксплуатационных, гидротехнических и других мелиоративных мероприятий, обеспечивающих устойчиво высокое плодородие почв.

Мониторинг орошаемых земель распространяется на земли независимо от характера их пользования и их правового режима и охватывает другие категории земель в границах мелиоративной системы или в зоне ее влияния. Ответственность за выполнение требований по ведению мониторинга орошаемых земель несут организации, осуществляющие мониторинг, органы управления сельским хозяйством, а также землепользователи и землевладельцы этих земель.

Ирригация земель приводит к изменению всего природного комплекса: рельефа, подземных, грунтовых, речных и коллекторно-дренажных вод, почв и растительности. Наибольшее воздействие на орошаемых массивах на почву оказывает вода. Именно избыток воды и ее неудовлетворительное качество вызывают подъем уровня грунтовых вод (УГВ), засоление, осолонцевание, подтопление и переувлажнение орошаемых и прилегающих к ним массивам. Поэтому ирригационно-мелиоративный мониторинг предполагает обязательное слежение за качеством оросительных и сбросных вод.

Особая ситуация складывается на рисовых полях. Специфика возделывания риса в условиях затопления нарушает гидрохимическое равновесие в системе почва – вода – соли, так как соли привносятся с оросительными водами, меняется тип водного режима. Это сопровождается подъемом УГВ, осолонцеванием, вымываются минеральные и органические вещества. Для прогнозирования этих процессов необходимо учитывать количественные закономерности формирования водного и солевого режимов, а также динамическое равновесие различных форм солей (растворенных в поровом растворе, сорбированных ППК) [4].

Мониторинг состояния орошаемых земель, в том числе и рисовых, предполагает ведение постоянных наблюдений за режимом грунтовых вод, наличием солей в них и в поливной воде, а также в пахотном слое на чеках. Для обеспечения наблюдений необходима закладка скважин режимной сети, стационарных площадок, гидрохимических постов, организация лабораторий, оснащенных необходимым оборудованием для проведения анализов.

Контроль качества оросительных и сбросных вод осуществляют по следующим параметрам: минерализация, pH, химический состав солей; содержание загрязняющих веществ (ТМ, пестициды, нитраты, радионуклиды).

Контроль состояния грунтовых вод ведется по следующим показателям: уровень грунтовых вод; минерализация, pH, химический состав солей; содержание загрязняющих веществ.

Важен выбор контролируемых показателей. Количество индикаторов должно быть необходимым и достаточным – их не должно быть слишком много (это необоснованно удорожает стоимость работ), но их должно быть достаточно для выявления экологической опасности орошения.

Индикаторами ранней диагностики служат показатели: влажность в слое от 0 до 100 см; щелочность почвы в слое от 0 до 100 см; плотность почвы в пахотном и подпахотном слоях; пористость почвы в пахотном и

подпахотном слоях; водно-солевой состав послойно (от 0 до 20, от 20 до 40, от 40 до 60 и т.д. вплоть до грунтовых вод); недоокисленные токсичные вещества в слое от 0 до 100 см; содоустойчивость в слое от 0 до 100 см [4].

При краткосрочном мониторинге список индикаторов пополняется рядом показателей: рН в слое от 0 до 100 см; солонцеватость в слое от 0 до 100 см; содержание доступных растениям элементов питания (легкогидролизуемый и нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий в слоях от 0 до 20, от 20 до 40, от 40 до 60, от 60 до 80, от 80 до 100 см). Часто показатели ранней диагностики рассматривают совместно с краскосрочными показателями.

Наиболее трудоемким является определение *долгосрочных показателей*: содержание, запасы и фракционно-групповой состав гумуса в слоях от 0 до 20, от 20 до 40, от 40 до 60 см; структурное состояние в пахотном и подпахотном слоях; состав обменных оснований в слое от 0 до 100 см; содержание карбонатов и гипса в слоях от 0 до 20, от 20 до 40, от 40 до 60 см; минералогический состав в слоях от 0 до 20, от 20 до 40, от 40 до 60 см.

На орошаемых территориях применяются повышенные нормы удобрений, пестициды, поэтому для контроля биологической активности почвы рекомендуют периодически определять нитрификационную способность почвы и общее число микроорганизмов.

Одним из основных показателей производительной способности почвы является урожайность сельскохозяйственных культур, сверяемая для каждого вида растений с соответствующим ГОСТом.

Государственная гидрогеолого-мелиоративная служба (ГГМС) организует проведение на орошаемых землях стационарных режимных наблюдений уровня грунтовых вод (3 раза в месяц), поддержание работы режимных скважин, периодически проводится солевая съемка, слежение за качеством оросительной воды.

Наблюдения за почвенным плодородием на орошаемых землях – прерогатива агрохимической службы.

Мониторинг сводится к определению уровня обеспеченности питательными элементами, контролируется содержание обменного натрия (определение этого показателя ограничивается в последнее время). Этих исследований явно недостаточно для решения стоящих перед данными службами задач, и говорить о полноценном мониторинге не приходится.

Агрохимслужба должна существенно расширить набор контролируемых показателей (таблица 13) [4].

Каждая оросительная система должна иметь определенное количество водно-балансовых станций и водно-солевых стационаров, основная задача которых – детальное изучение процессов формирования гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий, особенностей сезонного, годового, многолетнего режима уровня и химического состава грунтовых вод в увязке с солевым режимом почвогрунтов в зоне аэрации.

Мониторинг почвенных свойств необходимо проводить на экспериментальных участках (полигонах мониторинга), характеризующихся наиболее типичными мелиоративными и почвенными условиями. Там, где эволюция почвенных и гидрогеологических показателей протекает в ускоренном темпе, полигоны мониторинга рекомендуется размещать на участках с более сложными мелиоративными условиями. Там же, где изменение почвенно-гидрологических характеристик проходит медленно, следует выбирать для полигонов участки со средними мелиоративными условиями [4].

Таблица 13 – Показатели почвенного плодородия и периодичность их определения в ходе ведения мониторинга орошаемых земель (Скуратов, 2000)

Показатель	Периодичность определения	Глубина, м	Служба
Водно-физические свойства			
Плотность скелета почв	Ежегодно	1,0	ГГМС, АС
Структурно-агрегатный состав		0,6	АС
Микроагрегатный состав	1 раз в5 лет	0,6	АС
Гранулометрический состав		3	
Коэффициент дисперсности		1	
Порозность	Ежегодно	1	АС
Водопроницаемость	1 раз в5 лет	0,6	
Плотность твердых фаз		2	
Наименьшая полевая влагоемкость		1	ГГМС
Влажность	4 – 5 раз в год	1	
Физико-химические свойства			
Водная вытяжка	2 раза в год	3	ГГМС
Состав ППК		3	АС
Содоустойчивость		1	
Загрязнение почв тяжелыми металлами	1 раз в 5 лет	0,6	
Минералогический состав		0,6	
Гипс		0,6	
Карбонаты		0,6	
Агрохимические свойства			
Фракционно-групповой состав гумуса	Ежегодно	1	АС
Гумус, %		1	
Легкогидролизуемый состав	2 раза в год	1	
Подвижный фосфор, калий	По фазам развития растений	1	
Недоокисленные вещества		0,4	

Продолжение таблицы 13

Показатель	Периодичность определения	Глубина, м	Служба
Качество оросительных, грунтовых, коллекторно-дренажных вод			
Отточность дренажных вод	2 – 3 раза в год	-	ГТМС
Уровень грунтовых вод		-	
Минерализация и химический состав		-	
Загрязнение вод		-	
Наблюдения за растениями			
Учет урожая	Опт. сроки	-	АС
Загрязнение продукции	При необх.	-	

Рассоление почв вызывается нисходящими токами почвенных растворов, когда сумма и концентрация солей в корнеобитаемых и особенно в пахотных горизонтах сильно уменьшается.

Для оценки типа солевого режима можно использовать коэффициент сезонной аккумуляции, или коэффициент выноса солей (КВС). КВС рассчитывается как частное от деления разности показателей весеннего и осеннего содержания легкорастворимых солей в определенном слое почвы на содержание солей весной

$$KBC_{сезон} = \frac{\sum_{весн.} - \sum_{осень}}{\sum_{весн.}}, \quad (3)$$

где $\sum_{весн.}$ – показатель весеннего содержания легкорастворимых солей в определенном слое почвы;

$\sum_{осень}$ – показатель осеннего содержания легкорастворимых солей в определенном слое почвы.

КВС дает возможность оценить, произошло ли (и в каком размере) в течение вегетационного периода увеличение запаса солей в тех или иных

частях почвенного профиля. В зависимости от комплекса природных и хозяйственных условий, климата, глубины залегания и степени минерализации грунтовых вод, свойств поливной воды, качества обработки почвы годовой цикл солевого режима приводит к различным конечным результатам. Если размер сезонного засоления почвы приблизительно равен сезонному рассолению, то запас солей в почве из года в год не увеличивается (обратимый тип солевого режима). Если сезонное засоление превышает сезонное рассоление, то запас солей в ней из года в год возрастает (необратимое засоление) [4].

5.4 Интегральная оценка степени деградации почв

Такая оценка может быть эффективна, когда почвы подвержены не одному, а нескольким видам деградации. Становится необходимо оценить направление деградации почв, интенсивность деградационных процессов и их скорость. Интегральный показатель степени деградации почвы отражает информацию о глубине (силе) одного или нескольких видов деградации и времени (скорости) ее (их) действия.

Под *скоростью деградации* понимается ухудшение свойств почвы в единицу времени. В целях унификации для всех показателей скорость деградации можно было бы выразить скоростью перехода почвы из одной степени деградации в другую по рассматриваемому показателю. Однако шкалы для установления деградации физических, химических и биологических свойств почвы неравномерные, и поэтому определенная таким образом скорость деградации будет различной при разной степени деградации. Поэтому в качестве характеристики скорости деградации используют величину «период деградации». Под *периодом деградации* понимают гипотетическое время (в годах), за которое анализируемая почва

пройдет путь от 0 до максимальной степени деградации по рассматриваемому показателю. Период деградации, таким образом, есть величина, обратная скорости деградации.

Период деградации следует рассчитывать по данным за несколько лет наблюдений. Его величина может иметь отрицательное значение. В таком случае речь идет не о деградации, а об улучшении почвы за соответствующий период по рассматриваемому показателю [4].

Таким образом, период деградации может дать примерный прогноз изменения свойств почвы на ближайшее будущее при условии сохранения направления и темпов современных почвенных процессов. Например, почва получившая по лимитирующему, т.е. имеющему максимальную балльную оценку, показатель степени деградации 3 балла, при периоде деградации 10 лет имеет перспективы через два года перейти из состояния сильно деградированной почвы в очень сильно деградированную.

Необходимо проводить определение периода деградации почвы не только по лимитирующему показателю, но и по всем другим, так как лимитирующий показатель с течением времени может измениться.

Период деградации рассчитывают по формуле

$$T_d = X_{max} \times \frac{\Delta T}{X_t - X_s}, \quad (4)$$

где T_d – период деградации (в годах);

X_{max} – значение критерия деградации, соответствующее максимальному баллу;

ΔT – временной промежуток между двумя обследованиями (в годах);

X_t и X_s – значения критерия деградации соответственно при последнем обследовании и предыдущем.

Интегральная оценка степени деградации почвы должна включать показатель, по которому устанавливается деградация, балл деградации и в качестве индекса (степени) к нему период деградации. Установление степени деградации возможно по любой шкале разработанных показателей: деградации физических, химических, биологических свойств почв. При наличии двух или более видов деградации установление степени деградации почвы проводится по показателю, имеющему максимальный уровень деградации.

При итоговой оценке степени деградации почвы следует указывать наряду со степенью деградации процесс (или процессы), обуславливающие максимальную балльную оценку, и показатель скорости процесса, а также процесс, обеспечивающий максимальную скорость деградации.

Пример определения интегральной оценки степени деградации почв. При оценке физической деградации исследуемая почва получила максимальный балл деградации по показателю плотности почв, равный 3, период этого вида деградации составил 20 лет. При оценке загрязнения почва получила максимальный балл деградации 2 при периоде деградации 5 лет. Интегральная оценка степени деградации почв записывается так: 3^{20} (физическая деградация) и 2^5 (химическое загрязнение). Интегральная оценка состояния почвы: сильнодеградированная почва с тенденцией увеличения плотности и среднедеградированная под влиянием химического загрязнения. Но загрязнение прогрессирует, и через 1 – 3 года степень деградации химических свойств почв будет сравнима с деградацией физических свойств и потому уже сейчас необходима разработка системы мероприятий по предотвращению поступления в почву загрязняющих веществ [4].

Контрольные вопросы

- 1 На какие группы делятся индикаторы опустынивания?
- 2 Что такое характер опустынивания, степень и глубина опустынивания, скорость опустынивания?

- 3 Перечислите причины опустынивания.
- 4 Каков набор показателей мониторинга пастбищ?
- 5 Назовите стадии дигрессии. Охарактеризуйте их.
- 6 Назовите задачи ирригационно-мелиоративного почвенного мониторинга.
- 7 По каким параметрам осуществляется контроль качества оросительных и сбросных вод?
- 8 Что является индикатором ранней диагностики деградации ирригационных почв?
- 9 Как рассчитать период деградации?

6 Универсальный почвенный экологический мониторинг

6.1 Мониторинг микробиологического состояния почв

Почвенный микробоценоз представляет собой природную систему. Способ функционирования системы – взаимосвязь почвы и ее микроорганизмов. По этой причине все виды антропогенной деградации почв сказываются на состоянии почвенных микроорганизмов. И различные виды сельскохозяйственной деятельности (внесение минеральных удобрений и других средств химизации, орошение, системы обработки почв), и загрязнение почв аэрозольными, жидкими, твердыми отходами влияют на химические свойства почв, нарушают в почве условия существования микроорганизмов. Функционирование микробиоты почвы нарушается под влиянием эрозии, переуплотнения, переувлажнения, засоления и других деградационных процессов. Химическое загрязнение – одна из мощных причин деградации микробиологического состояния почв. Все эти процессы, сказывающиеся на состоянии микробоценоза, тем самым влияют на

важнейшие биохимические свойства почв и на состояние всех химических элементов.

Микроорганизмы способствуют изменению формы нахождения загрязняющих веществ, например металлов, в почвах. Они способны адсорбировать их на своей поверхности, которая велика у микроскопически малых организмов. Что касается поллютантов, закрепленных на поверхности твердых фаз почвы, они становятся менее доступными для микробиологической трансформации. Наиболее четко эта закономерность проявляется на легких и малогумусных почвах.

Воздействие загрязняющих веществ может носить характер острых (мощное непродолжительное, но катастрофическое воздействие) и хронических (длительное воздействие с невысокой интенсивностью), реакция микробоценоза в этих случаях различна. При незначительном загрязнении в силу высокой вариабельности всех показателей функционирования микроорганизмов их реакцию выявить трудно. При более высоких степенях загрязнения деградация проявляется четко в изменении структуры и функционирования микробного сообщества.

Реакция микроорганизмов зависит от множества факторов: от вида воздействия, меры и режима воздействия, вида микроорганизмов, свойств почв.

Выявлены общие и специфические черты ответной реакции почвенного микробоценоза на антропогенную деградацию почв. Во всех случаях отмечается снижение численности микроорганизмов, сокращение видового разнообразия, изменение видового состава, меняются показатели их активности.

Микроорганизмы различаются по их толерантности к загрязняющим веществам. У почвенных грибов в загрязненных почвах наблюдается задержка и снижение уровня прорастания спор. У многих из них замедляется рост колоний, накопление массы, снижается способность к размножению. Во

всех случаях выбывают виды, менее чувствительные к загрязнению. Наблюдается упрощение структуры микробоценоза.

Сокращается присутствие редко выделяемых чувствительных видов (часто ими оказываются грибы), далее начинают выбывать виды — доминанты. Наблюдается повышение доминирования небольшого числа толерантных видов. Увеличивается содержание токсинообразующих, эпифитных и пигментрированных видов. Возможно появление не типичных для данных почв форм.

При нарушении состояния почв происходит изменение показателей ферментативной активности почв. Ферменты (энзимы) — это продуцируемые микроорганизмами вещества, которые способны многократно (на порядки) ускорять химические реакции и обеспечивать большинство реакций обмена веществ. Они характеризуют потенциальную биологическую активность почв. Всего обнаруживают в настоящее время до 1000 ферментов. Все они встречаются в почве, но с диагностической целью используют 8 — 9 из них. Наиболее распространено определение гидролаз (инвертаза, фосфатаза, уреазы, протеаза и др.) и оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназа, полифенолоксидаза и др.).

Таким образом, почвенный микробоценоз отражает различные виды деградации почв, и на этом основании показатели его состояния могут служить универсальными индикаторами состояния почв при почвенном мониторинге.

Микробиологические тесты позволяют за короткое время, даже при незначительных изменениях в окружающей среде, оценить отклонения в функционировании почвенной системы и потому могут служить показателями ранней диагностики степени деградации почв. Основных микробиологических тестов всего четыре (таблица 14).

Уровень активной микробной биомассы является информативным показателем общего состояния почвенной биоты. Степень деградации устанавливается по уменьшению уровня активной микробной биомассы по

сравнению с контролем. Для недеградированной почвы допускается не более чем 5-кратное снижение, тогда как очень сильнодеградированная почва характеризуется более чем 100-кратным снижением активности микробной биомассы.

Таблица 14 – Показатели и критерии биологической деградации почв

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Генотоксичность (рост числа мутаций в сравнении с контролем), кратность	< 2	2 – 10	10 – 100	100 – 1000	> 1000
Уровень активной микробной биомассы, кратность уменьшения по сравнению с контролем	< 5	5 – 10	10 – 50	50 – 100	> 100
Фитотоксичность (снижение числа проростков и подавление их роста), кратность	< 1,1	1,1 – 1,2	1,2 – 1,4	1,4 – 2,0	> 2,0
Количество патогенных микроорганизмов в одном грамме почвы	< 10 ³	10 ³ – 10 ⁴	10 ⁴ – 10 ⁵	10 ⁵ – 10 ⁶	> 10 ⁶

Содержание патогенных форм микроорганизмов характеризует биологическое загрязнение почвы. В норме их количество не превышает 1000 на 1 г почвы.

Фитотоксичность почвы является интегральным показателем состояния почвенной биоты. Зависит от суммарного загрязнения почвы, включая и почвоутомление. Определяют методом «почвенных пластинок» по снижению числа проросших семян и длины проростков по сравнению с контролем. Снижение числа проросших семян и длины проростков по сравнению с контролем в 1,1 раза допускается для недеградированной почвы. Если число

проростков снизилось более чем в два раза, то почва очень сильно деградирована.

Генотоксичность почвы – показатель, с помощью которого определяют способность почвы влиять на структурно-функциональное состояние генетического аппарата почвенной биоты, включая микроорганизмы, растительность и почвенную фауну. Определяют по росту числа генных мутаций по сравнению с контролем. Оценивается в краткосрочных тестах. В норме число мутаций в нарушенной почве не должно отличаться более чем в два раза по сравнению с контролем.

При высоком значении показателя скорости биологической деградации необходимо выявление вызывающих ее причин, так как за исключением количества патогенных микроорганизмов все остальные параметры биологической деградации являются интегральными, обусловленными совокупным действием целого ряда причин. Наибольшее распространение получили методы микробиологического тестирования для оценки состояния почв, подверженных загрязнению.

В ходе санитарно-гигиенического мониторинга оценка степени биологического загрязнения ведется по санитарно-бактериологическим, санитарно-паразитологическим и санитарно-энтомологическим показателям.

В загрязненной почве на фоне уменьшения аборигенных представителей почвенных микробоценозов и снижения ее биологической активности отмечается увеличение количества патогенных энтеробактерий и гельминтов, которые более устойчивы к химическому загрязнению почвы, чем представители естественных почвенных микробоценозов. Оценка санитарно-бактериологического состояния почвы обязательно проводится на объектах повышенного риска (детские сады, игровые площадки, зоны санитарной охраны).

При контроле микробиологического состояния почв проводится выявление реакции отдельных групп почвенных микроорганизмов на то или

иное воздействие на разных уровнях их организации: особь, популяция, сообщество.

Каждая почва характеризуется определенной обогащенностью микроорганизмами, и она может снижаться при разных видах воздействия на нее (таблицы 15, 16).

Таблица 15 – Оценка степени обогащенности почв микроорганизмами, а именно бактериями, люминесцентно-микроскопический метод (по Звягинцеву, 1978)

Степень обогащенности	Общее количество		Сухая биомасса
	млрд/г	млрд/см ²	кг/га
Очень бедная	< 1	< 50	< 42
Бедная	1 – 2	50 – 100	42 – 85
Среднеобогатенная	2 – 5	100 – 200	85 – 170
Богатая	5 – 10	200 – 400	170 – 340
Очень богатая	> 10	> 400	> 340

Таблица 16 – Оценка степени обогащенности почв микроорганизмами, а именно микроскопическими грибами, люминесцентно-микроскопический метод (по Звягинцеву, 1978)

Степень обогащенности	Длина гиф		Сухая биомасса
	м/г	м/см ²	кг/га
Очень бедная	< 30	< 750	< 120
Бедная	30 – 100	750 – 2500	120 – 400
Среднеобогатенная	100 – 300	2500 – 7500	400 – 1200
Богатая	300 – 1000	7500 – 25000	1200 – 4000
Очень богатая	> 1000	> 25000	> 4000

Для сообществ (комплексов) – один из основных показателей – изменение их видовой структуры. Показателями изменения могут быть общее число выделяемых видов (богатство видов), показатели их разнообразия, уровень доминирования. Наряду с изменением разнообразия может происходить изменение состава видов.

Слежение за изменением состава и структуры сообществ может проводиться как по отдельным таксономическим группам, так и для трофических групп почвенных микроорганизмов.

Информативным показателем биологического состояния почвы также является ее ферментативная активность. Оценка степени обогащенности почвы ферментами дана в таблице 17.

Таблица 17 – Шкала для оценки степени обогащенности почв ферментами (по Звягинцеву, 1978)

Степень обогащенности	Дегидрогеназа, мг ТФФ на 10 г за 24 ч	Уреаза, мг NH ₃ , на 10 г за 24 ч	Фосфатаза, мг P ₂ O ₃ на 10 г за 1 ч	Каталаза, O ₂ см ³ /г за 1 мин.	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г за 24 ч
Очень бедная	< 1	< 3	< 0,5	< 1	< 5
Бедная	1 – 3	3 – 10	0,5 – 1,5	1 – 3	5 – 15
Средняя	3 – 10	10 – 30	1,5 – 5,0	3 – 10	15 – 50
Богатая	10 – 30	30 – 100	5 – 15	10 – 30	50 – 150
Очень богатая	> 30	> 100	> 15	> 30	> 150

Почва является самой богатой системой как по ферментативному пулу, так и ферментному разнообразию. Источниками почвенных ферментов служат растения, микроорганизмы, животные, словом, все живое вещество почвы. Роль ферментов в почвенных процессах трудно переоценить, ведь они являются катализаторами биохимических превращений органических остатков и гумуса и тем самым участвуют в биохимических циклах углерода, азота, фосфора, серы и других элементов.

Обогащенность ферментами в значительной степени определяется генетическим типом почвы, при этом в верхних биогенных горизонтах активность ферментов максимальна, а вниз по профилю – в большинстве случаев снижается.

Деградация почвы сопровождается снижением ее биологической активности, и ферменты, как показали многочисленные исследования, являются надежным индикатором этого явления. При этом ферменты проявляют специфическую реакцию на тот или иной вид деградации почвы. Так, загрязнение почвы ТМ, нефтепродуктами в значительной степени снижает активность каталазы, в то время как инвертаза и дегидрогеназа довольно слабо реагируют на нефтезагрязнение. В то же время инвертаза чувствительна к сельскохозяйственному использованию, а каталаза – нет [4].

6.2 Мониторинг почв по их производительной способности (бонитировочный)

Бонитировка почв – сравнительная оценка качества почв по их производительной способности, это специализированная генетико-производственная классификация почв, плодородие которых выражено в баллах.

Бонитет почв – показатель качеств почв, их продуктивности, добротности.

Главным основанием бонитировки почв служат их природные признаки и свойства как наиболее объективные и надежные показатели естественной правоспособности почв. При бонитировке почв учитываются, прежде всего, свойства, заложенные в самой почве, устойчиво коррелирующие с урожайностью сельскохозяйственных культур, и на этой основе устанавливают балл бонитета почв.

Основу бонитировки составляет естественно-исторический метод оценки земель, примененный В.В. Докучаевым в 1882 – 1887 гг. при оценке земель Нижегородской губернии. Суть данного метода состоит в том, что «прежде всего, следует оценить почву как естественное тело независимо от отношений к ней человека и условий времени; это значит исследовать состав почвы, узнать ее физические свойства и отношения к подпочве и на основании всего этого, но только одного этого, определить сравнительное достоинство почвы». В основу этого метода В.В. Докучаев положил их природные свойства и признаки, а урожайность культур используется для подтверждения правильности установления соотношений между отдельными почвами.

Исходным, первоначальным объектом бонитировки является почвенная разновидность [4, 20].

Еще одним подходом к оценке качества почв является вариант естественно-исторического метода, при использовании которого таксономической единицей является не почвенная разновидность, а агропроизводственная группа или подгруппа почв (почвы сходны по своим агрономическим качествам по отношению к какой-либо сельскохозяйственной культуре или по общим растениеводческим качествам).

При географическом подходе выявляется связь между урожайностью и типом местности. Баллы бонитета для различных типов местности устанавливают по выходу сельскохозяйственной продукции. Метод разработан географами МГУ и Львовского университета.

В основу общей оценки почвенного плодородия положена оценка гумусного состояния, так как именно гумус является интегральным показателем плодородия почв.

В качестве основных генетических показателей при разработке шкалы бонитета почв используются показатели (Гаврилюк, 1972):

- общая мощность горизонтов (A + B);
- запасы гумуса (т/га) во всей толще гумусовых горизонтов.

Эти индексы плодородия показали высокую информативность при оценке качества черноземов и каштановых почв Нижнего Дона и Северного Кавказа. Бонитировка этих почв осуществляется, прежде всего, применительно к потребностям зерновых культур, так как зерновое хозяйство составляет основу сельскохозяйственного производства региона.

Имеют значение выбранные критерии балльной оценки почв. При разработке рабочей оценочной шкалы для определения балла бонитета почв Ростовской области за 100 баллов (т.е. за эталон) были приняты признаки обыкновенного чернозема, в котором мощность гумусового горизонта $A + B = 75$ см, запасы гумуса – 425 т/га, а урожайность – близка к средней урожайности зерновых культур на сортоучастках – 20 ц/га.

Использовались и «разомкнутые» оценочные шкалы, где средней по качеству почве присваивается 100 баллов, почвам выше среднего качества – соответственно более 100 баллов и почвам ниже среднего качества – менее 100 баллов.

Эффективность этих показателей неодинакова для разных типов почв. В частности, в почвах, где гумуса содержится меньше (каштановая и чернозем южный), влияние его на почвенное плодородие выше, чем в почвах с большим содержанием гумуса. Это связано с особенностями качественного состава гумуса.

Содержания гумуса в пахотном слое дерново-подзолистых почвах показало надежную связь с величиной урожайности сельскохозяйственных культур.

Оценку деградации почвы по показателям ее гумусного состояния можно провести исходя из рекомендаций Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов России, по которым уменьшение гумусового слоя менее чем на 0,1 доли его мощности указывает на отсутствие деградации.

Однако эти рекомендации не содержат придержек по оценке деградации почвы при снижении гумусированности пахотного слоя без уменьшения мощности $A + B$. В то же время в условиях степной и сухостепной зон это явление широко распространено.

При переводе деградационных потерь в балльную систему оценок необходимо учитывать различную исходную мощность ($A + B$) изучаемых подтипов черноземов. Поэтому уже при первой степени деградации черноземы, изначально имеющие большую мощность гумусового слоя, «могут позволить себе» большую потерю в баллах и при этом остаться в градации «слабая степень деградации». При очень сильной деградации потери мощности гумусового слоя в баллах в этом подтипе черноземов в 2 раза выше, чем в черноземах южных. Для каштановых почв данная система оценки деградации гумусного состояния была разработана на основе тех же принципов. В качестве показателя деградации используется убыль гумуса в пахотном горизонте в процентах к исходному состоянию (таблица 18).

Предложенный подход обоснован следующим: содержание гумуса в горизонте A каштановых почв Ростовской области составляет в среднем от 2,4 % до 2,2 %. Уменьшение этого показателя на 30 % приведет к тому, что горизонт A по содержанию гумуса будет соответствовать нижележащему горизонту B . Содержание гумуса от 1,8 % до 1,5 % в пахотном слое свидетельствует о том, что почва подвержена эрозии, горизонт A полностью смыт и почва достигла крайней, четвертой, степени деградации. Эти же принципы использовались для разработки критериев оценки темно- и светло-каштановых почв.

Существуют и другие нормативы для оценки деградации почв, в которых не учитывается специфика гумусного состояния. Соответственно, и выводы, сделанные на их основе, будут иные.

Для примера установим степень деградации почв, рассмотренных в предыдущем примере, в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке деградации почв» (приложение А) и сопоставим сделанные выводы.

Таблица 18 – Показатели и критерии оценки степени деградации гумусного состояния черноземов (Безуглова, Бессчетнова, 2000)

Показатель	Почвы	Степень деградации				
		0	1	2	3	4
Мощность (А + В), убыль в см	Черноземы южные	< 5	5 – 15	15 – 20	20 – 30	> 30
	Черноземы обыкновенные карбонатные:					
	северо-приазовские	< 10	10 – 20	20 – 30	30 – 45	> 45
	предкавказские	< 15	15 – 25	25 – 45	45 – 65	> 65
Бальная оценка, убыль в баллах	Черноземы южные	< 5	5 – 10	10 – 15	15 – 25	> 25
	Черноземы обыкновенные карбонатные:					
	северо-приазовские	< 5	5 – 10	10 – 20	20 – 45	> 45
	предкавказские	< 5	5 – 15	15 – 25	25 – 50	> 50
Содержание гумуса в А _{пах} , убыль в % к исходному содержанию (недеградированный аналог)	Черноземы (в среднем для типа)	< 5	5 – 10	10 – 30	30 – 50	> 50

По показателю «уменьшение запасов гумуса в профиле почвы» в «Методических указаниях...» предлагается 4-ю степень деградации диагностировать при уменьшении запасов гумуса на 80 % по сравнению с недеградированным аналогом. В обыкновенном черноземе, принятом за эталон, запас гумуса составляет 425 т/га. Данную почву можно будет перевести в разряд 4-й степени деградации при уменьшении запасов гумуса до 85 т/га. А светло-каштановая почва с запасом гумуса в А + В = 85 т/га, будет переведена в 4-ю степень деградации только по достижении запаса гумуса в 17 т/га. Но если в первом случае в почве, вероятно, будет сохранен по крайней мере горизонт В₂, то во втором случае при таких запасах гумуса речь может идти только о горизонтах ВС или С, так как в лессовидных

суглинках на глубине одного метра гумуса содержится от 0,5 % – 0,6 % до 0,3 % – 0,2 % гумуса, что обеспечивает запас гумуса в слое 0 – 20 см от 4 до 16 т/га. То есть при учете генетических особенностей оценки деградации почв получены более жесткие, чем без учета этих особенностей [4].

Кроме показателей гумусового состояния почв, при бонитировке почв учитываются гранулометрический состав, скелетность, реакция среды, засоленность, солонцеватость и многое другое. Признаки почв, от которых зависит урожайность сельскохозяйственных культур, называют критериями бонитировки [4, 20].

6.3 Дистанционный почвенный экологический мониторинг

Дистанционный почвенный экологический мониторинг – контроль состояния почв с помощью дистанционных методов. Как сказал крупнейший специалист в области применения аэрокосмических методов изучения и картографирования растительности Б.В. Виноградский «подобно тому, как мышь, бегающая по поверхности персидского ковра, не способна воспринять всю красоту и сложность его рисунка, геолог, работающий на земле, не видит целостного узора биогеоценотического покрова больших пространств». Эту возможность открыли средства дистанционного зондирования. Использование результатов съемки земной поверхности из космоса и аэрофотоснимков позволяет получать информацию с больших площадей.

Отмечаются следующие особенности и достоинства космического мониторинга:

- наблюдаются и регистрируются сведения об обширных пространствах, вплоть до всей видимой в момент съемки части Земного шара; благодаря большой обзорности на снимках видны крупные

региональные особенности хозяйственного воздействия на природные ландшафты;

- космоснимки дают однотипную и детальную информацию о труднодоступных районах с такой же точностью, как и для хорошо изученных регионов, что позволяет эффективно применять метод экстраполяции дешифровочных признаков на основе выделения ландшафтов-аналогов;

- мгновенность изображения обширных площадей сводит к минимуму влияние переменных погодных и сезонных факторов; возможность регулярного проведения повторных съемок позволяет выбрать лучшие изображения; по материалам повторных съемок изучается динамика природных процессов;

- комплексный характер информации, содержащейся на космоснимках, позволяет использовать их для изучения сложных процессов взаимодействия общества и природы;

- на снимках с высоким разрешением можно распознать особенности морфологической структуры ландшафтов и техногенных образований. Вместе с тем, благодаря естественной генерализации изображения, на космических снимках отображаются наиболее крупные и существенные элементы географической оболочки и следы антропогенного воздействия.

Главной особенностью современного этапа развития дистанционного мониторинга являются разработка и использование новых технических средств сбора и обработки информации [21].

Для дистанционного обследования территории применяют метод лазерного дистанционного зондирования (ЛДЗ). Установки ЛДЗ могут быть размещены на самолетах или вертолетах сельскохозяйственной авиации. В этом случае обеспечивается сбор информации с больших площадей за короткий промежуток времени, методы ЛДЗ обладают высокой чувствительностью и разрешением.

С помощью дистанционных методов можно осуществлять раннюю диагностику недостаточности элементов минерального питания в почвах; диагностику состояния растительности после обработки гербицидами; диагностику недостаточности содержания влаги в почве; создавать карты текущего состояния почв (степени засоленности, кислотности в данном районе); выявлять различные виды деградации почв.

Использование дистанционных методов дает возможность создавать широкомасштабные банки данных по состоянию почв, наблюдать динамику их изменения. Эффективно сочетание наземных и дистанционных наблюдений. Наземный мониторинг, включающий отбор почвенных проб и их анализ, может как предшествовать дистанционному наблюдению, так и следовать за ним в качестве уточняющего этапа.

Дистанционные методы анализа почв основаны на спектральной отражательной способности (СОС) почв – способности почв избирательно поглощать и отражать электромагнитные излучения определенных длин волн в зависимости от химического состава и физического строения поверхности. По изменению спектральных характеристик почв можно оценивать потерю гумуса и изменение его качественного состава, проследить процессы засоления, оподзоливания, развития эрозии и т.д. [4].

Изменение спектральной яркости природных образований позволяет получить количественную информацию о нарушении растительного покрова в результате естественных или антропогенных причин, достаточно точную для оценки степени опустынивания, перевыпаса, зарастания песков, заболеваний сельскохозяйственных культур, накопления или потери растительной биомассы, что очень важно для оперативного планирования в сельском хозяйстве. Яркостные характеристики, полученные в результате наземных и аэрокосмических измерений, дают информацию о степени задымления атмосферы над экологически неблагополучными территориями и динамику переноса выбросов [8].

Отражение света почвами зависит от их влажности, содержания гумуса, карбонатов, железа, солей, размера агрегатов. Зависимость эта описывается простыми эмпирическими уравнениями. Для каждой из таких функций общий вид уравнения не зависит от типа почвы, но значения постоянных коэффициентов закономерно изменяются для почв разного генезиса в широких пределах. Таким образом, использование спектральных характеристик позволяет оперативно и объективно оценивать содержание различных красящих компонентов, а по изменению во времени их содержания можно судить о скорости и направлении многих почвенных процессов.

В системе наземного мониторинга для характеристики СОС используют спектральные коэффициенты отражения (СКО). Спектральным коэффициентом отражения называют величину, равную отношению светового потока, рассеянного освещенной поверхностью почвы во всех направлениях, к световому потоку, падающему на эту поверхность в определенном интервале длин волн. СКО определяют в лабораторных условиях на спектрофотометрах типа СФ-10, СФ-14, СФ-18 с применением интегрирующей сферы, где учитывается весь диффузно отраженный от объекта световой поток [4].

Измерения проводят следующим образом. Пробы почв доводят до воздушно-сухого состояния, измельчают, пропускают через сито с диаметром отверстия 1 мм, помещают в кювету интегрирующей сферы прибора и записывают спектр отражения. Если предполагается исследование почв с ненарушенным сложением, то в поле при отборе проб изучаемых почвенных горизонтов вырезают микромонолиты, соответствующие по размерам кювете спектрофотометра. Если отобранная в поле почва имеет рыхлое сложение, то после доведения ее до воздушно-сухого состояния в кювету спектрофотометра помещают не измельченную почву, сохраняя соотношение агрегатов различного сложения, свойственное природной почве.

Поверхность почвенной массы фотометрически сравнивается с эталоном, имеющим стандартные коэффициенты отражения для всех длин волн. Результаты определений записываются в виде графиков зависимости отражения света от длины волны. Значение величин спектральных коэффициентов отражения считывают непосредственно по шкале на бланке с записью спектра, принимая во внимание масштаб записи (положение кулачков T или T_1) [8].

В системе дистанционного мониторинга используются спектральные коэффициенты яркости (СКЯ). Спектральный коэффициент яркости равен отношению интенсивности потока излучения, отраженного поверхностью объекта в каком-либо направлении, к интенсивности потока, отраженного в том же направлении от идеально рассеивающей поверхности. Измерение СКЯ проводят, как правило, с борта самолета, космического корабля, вышки или с руки полевыми спектрометрами. Промышленный выпуск таких приборов в нашей стране, к сожалению, пока не налажен, и исследователи пользуются авторскими экземплярами, изготовленными для каждой конкретной задачи.

Измерение СКЯ в полевых условиях связано с рядом особенностей, так как если в лабораторных условиях получение СКО зависит только от точности прибора, то в полевых условиях необходимо учитывать влияние внешних факторов: условия освещения, влажность почвы, степень обработки почвы и т.д. Поэтому для уменьшения погрешности приходится прибегать к увеличению объема выборки.

Наибольшее влияние гумуса на спектральные свойства почв проявляется в области длин волн от 700 до 750 нм. Анализ большого набора почв, как современных, так и погребенных, показал, что связь между коэффициентом отражения света при 750 (700) нм и содержанием органического углерода выражается зависимостью, близкой к экспоненциальной. При высоком содержании гумуса окраска почв обусловлена практически только органическим веществом и мало меняется с

увеличением его содержания. При уменьшении содержания гумуса отражение начинает быстро нарастать, приближаясь к отражательной способности породы.

На закономерных изменениях СКО по почвенному профилю основана и оценка степени эродированности почв. Вспашка смытых и несмытых почв проводится обычно на одинаковую глубину, при этом наблюдается как бы разбавление верхнего слоя нижележащим горизонтом. Для почв с разной окраской горизонтов по результатам измерения СКО можно оценить степень припахивания нижележащих горизонтов. Достоверно дешифрируется динамика структур почвенного покрова, связанная с антропогенными нарушениями его в результате водной и ветровой эрозии, вторичного засоления, заболачивания, изменений форм использования земель.

Для оценки загрязнения земной поверхности используются совместно черно-белые и цветные ИК – аэрофотоснимки. При этом выявляются нарушения растительного покрова, свалки, деградация лесов, деградация пастбищ. Дистанционные методы позволяют выявить зоны перевыпаса скота. На аэрофотоснимках прослеживаются все стадии пастбищной депрессии, удастся оценить урожай пастбищных трав с точностью до 50 кг/га и учесть эту информацию. Сравнение изображений в разные годы позволяет выявить ареалы опустынивания и оценить скорости его развития.

Дистанционные наблюдения оказались полезными при выявлении ранних признаков засухи, при оценке интенсивности эоловых процессов, динамики растительного покрова. Наиболее активно используется этот вид наблюдений при мониторинге опустынивания.

Характер кривых яркости позволяет диагностировать засоленные поверхности, различия во влажности, карбонатности почв, степени покрытия их растительностью. Дистанционные методы пригодны для получения информации о нефтяном загрязнении почв [4].

6.3.1 Характеристика спектральных кривых отражений

Поглощение световой энергии почвами происходит в тонком поверхностном слое, очень сложном по физическим и химическим свойствам. Световая энергия, которая не поглощается этим слоем, трансформируется в отраженный поток света. Имеющиеся сведения о величинах отражательной способности почв различных климатических зон подтверждают высокую абсорбционную способность почвенной среды и высокую степень поглощения световой энергии. Характер отраженной составляющей определяется физико-химическими свойствами почвенной поверхности. Почва, как и все природные образования, поглощает падающую на нее энергию избирательно, и соответственно меняется спектральный состав отраженного света.

Наибольшее поглощение света почвой наблюдается в коротковолновой части спектра. Наибольшие различия величин отраженных световых потоков от почв, неодинаковых по составу красящих химических компонентов, проявляется в длинноволновой части спектра.

Спектры отражения почв имеют вид плавных кривых с постепенным возрастанием коэффициентов отражения от коротковолновой части спектра (400 нм) до длинноволновой (750 нм).

Характеризуя отражательную способность объекта, учитывают общий характер спектра отражения. Для большинства ненарушенных почв и их генетических горизонтов характерны три типа спектров отражения. Первый тип спектров (рисунок 6) представлен пологими кривыми, плавно поднимающимися от синей к красной части спектра. Такие кривые свойственны гумусоаккумулятивным горизонтам почв, причем величина ρ_{400} находится в пределах от 4 % до 15 %, а ρ_{750} сильно зависит от содержания гумуса и колеблется от 15 % до 45 %. Второй тип кривых (рисунок 7) по характеру похож на кривые первого типа, но общий уровень отражения

значительно выше. Величины коэффициентов отражения плавно меняются от 20 % – 25 % до 50 % – 70 % (при 400 и 750 нм соответственно). Такие спектры имеют сильно осветленные почвенные горизонты, например некоторые элювиальные горизонты, сильно закарбоначенные горизонты или солончаки [8].

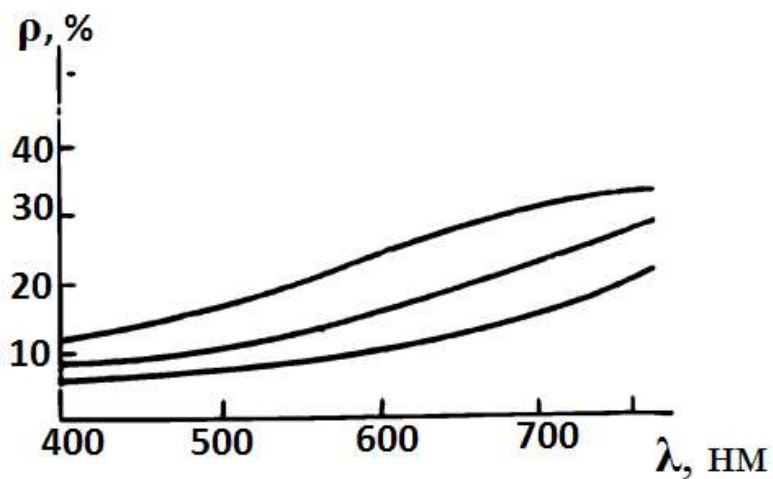


Рисунок 6 – Спектральные кривые гумусных горизонтов

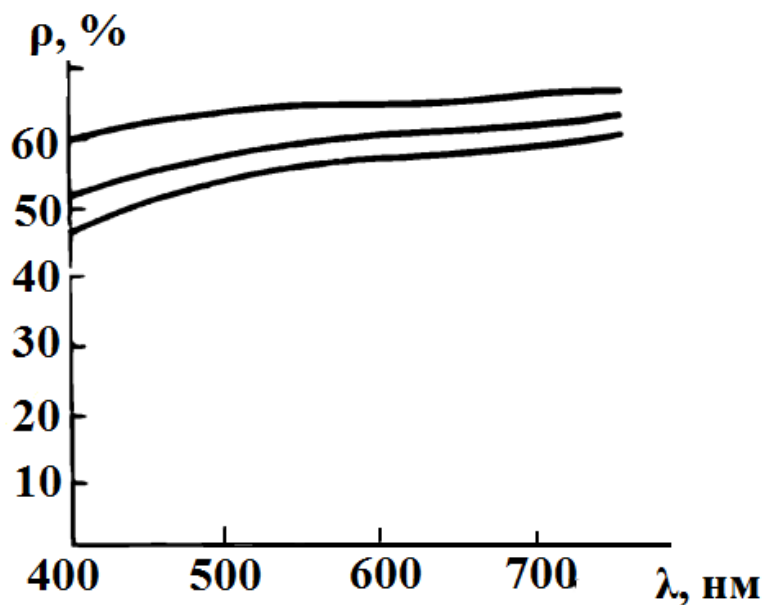


Рисунок 7 – Спектральные кривые осветленных горизонтов

Третий тип спектров отражения (рисунок 8) характеризуется более или менее четкими перегибами в области длин волн от 500 до 600 нм которые обусловлены наличием рыжевато-бурых компонентов, в почвах таковыми являются оксидные соединения железа. Эти спектры характерны для иллювиальных ожелезненных горизонтов.

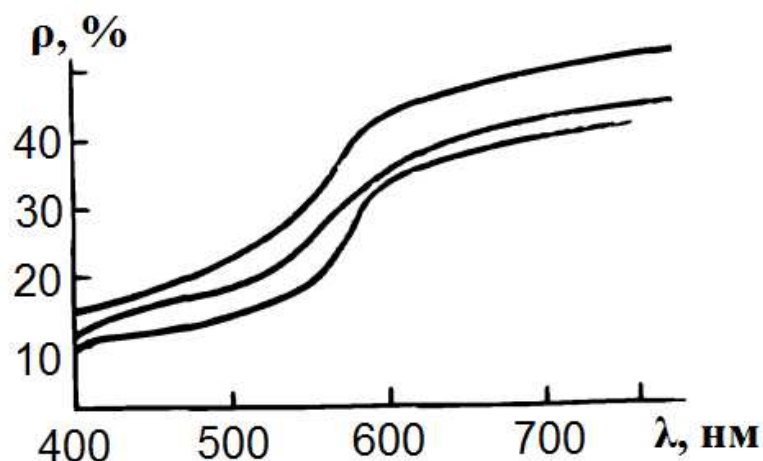


Рисунок 8 – Спектральные кривые ожелезненных горизонтов

На рисунках 9 – 11 представлены спектральные кривые некоторых основных типов почв.

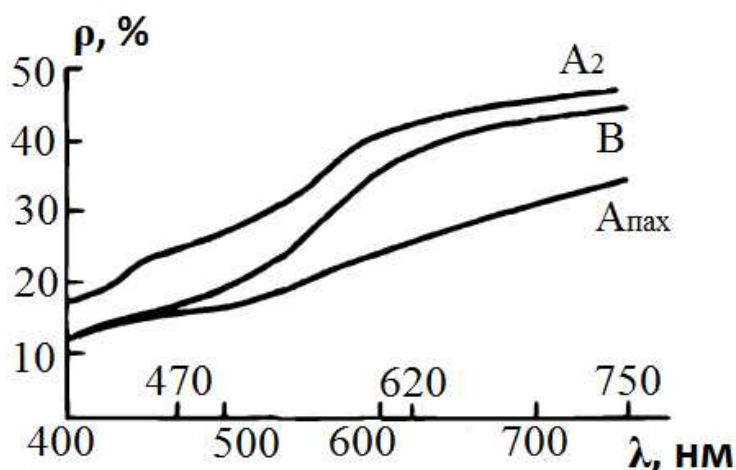


Рисунок 9 – Спектральные кривые горизонтов дерново-подзолистой пахотной почвы

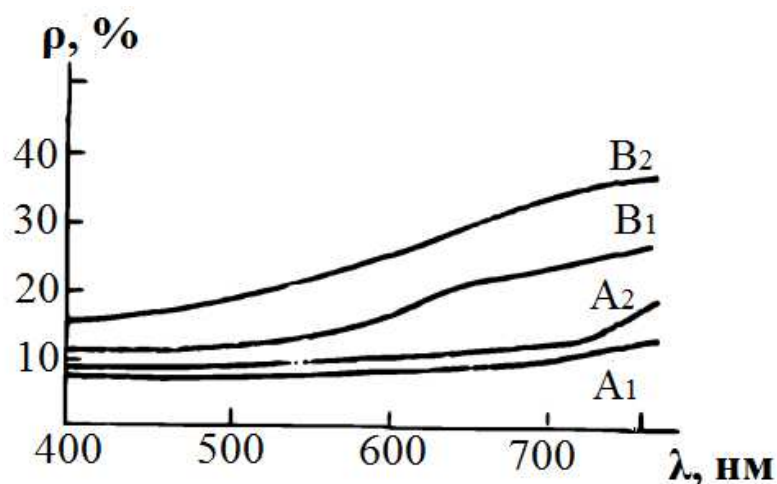


Рисунок 10 – Спектральные кривые горизонтов чернозема южного

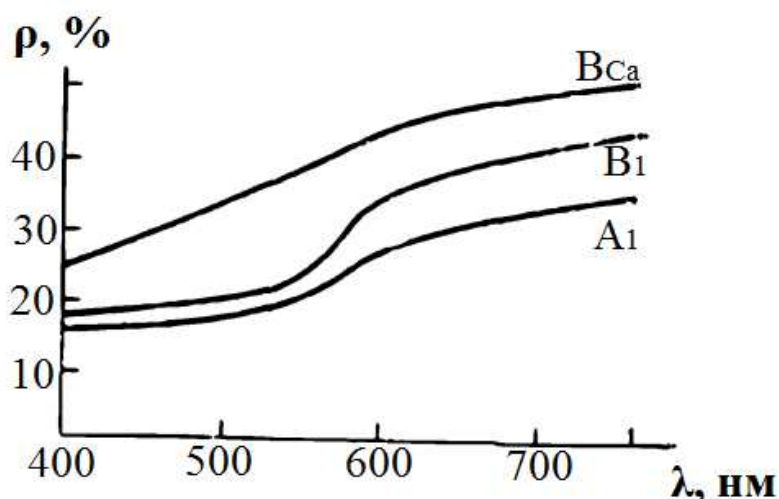


Рисунок 11 – Спектральные кривые горизонтов каштановой почвы

Спектральные кривые яркости отличаются от спектральных кривых отражения. Почвы без растительности имеют кривую, полого поднимающуюся от синей к красной части спектрального диапазона. Однако величины коэффициентов спектральной яркости меньше, чем величины коэффициентов спектрального отражения, измеренного в лаборатории, причем разница эта не постоянна при разных длинах волн. Растительность дает резкое изменение характера спектра. Она существенно снижает

величины коэффициентов яркости в диапазоне длин волн от 400 до 670 нм, а в волновом диапазоне от 670 и более резко повышает их (рисунки 12, 13) [8].

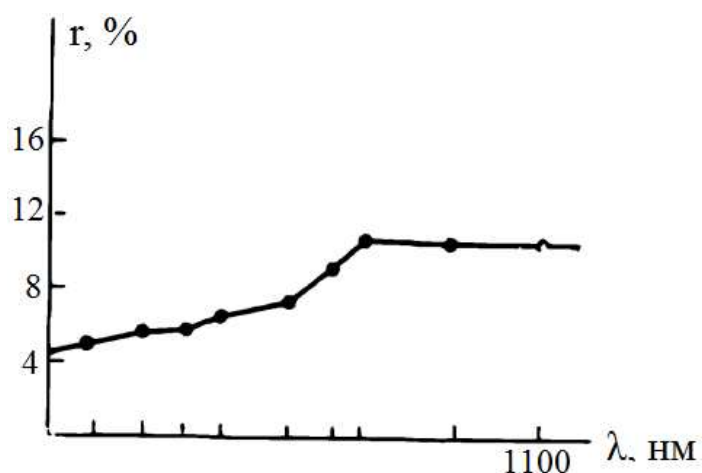
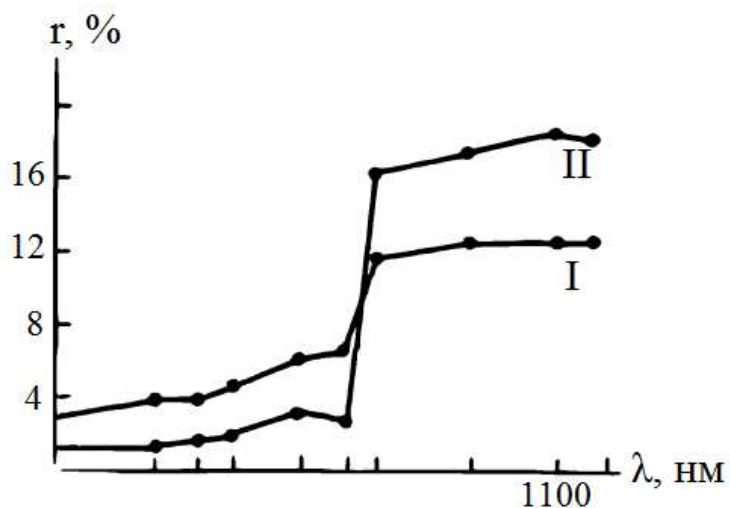


Рисунок 12 – Кривая спектральной яркости. Поверхность без растительности (крайняя степень антропогенного воздействия); почва светло-каштановая



I – ковыльно-полынная степь в хорошем состоянии; проективное покрытие от 40 % до 50 %, почва каштановая; II – пойма реки, ползунково-кобрезиевая ассоциация, проективное покрытие от 95 % до 100 %.

Рисунок 13 – Кривая спектральной яркости

6.3.2 Использование показателей спектральной отражательной способности для количественных оценок

Содержание гумуса в почве

Гумус – один из основных показателей плодородия, он же основной красящий компонент, влияющий на спектральную отражательную способность большинства почв.

Из экспериментальных работ известно, что гумусность почвы связана с ее спектральной яркостью. Хорошая нелинейная корреляция существует между этими параметрами в видимой и ближней инфракрасной частях спектра (от 0,4 до 1,2 мкм). С увеличением гумуса в почве уменьшаются коэффициенты спектральной яркости.

Наибольшие оптические различия между почвами, богатыми гумусом, и безгумусными породами наблюдаются в дальней красной части спектра (от 0,68 до 0,70 мкм). По данным спектрометрирования, для гумусовых горизонтов почв зонального ряда с диапазоном содержания гумуса от 0,15 % до 10 % и содержания гуминовых кислот от 0,01 % до 5% установлена экспоненциальная зависимость спектральных коэффициентов отражения от содержания гумуса и гуминовых кислот. Наибольшее влияние на снижение спектральной отражательной способности исследованных почв оказывает абсолютное содержание гуминовых кислот в почве, наименьшее — фульвокислот. При абсолютном содержании в почве гуминовых кислот порядка 5 % обеспечивается полное покрытие минеральных зерен пленками и дальнейшее увеличение их содержания в почве практически не влияет на ее отражательную способность [22].

Возможность контроля содержания гумуса в почвах по космическим снимкам для разных типов почв не одинакова. Установлено, что удовлетворительная корреляция содержания гумуса и спектральных коэффициентов яркости сохраняется в пределах одного типа или подтипа

почв в зонах подзолистых почв (где гумусированность пахотного слоя колеблется в пределах 1 % – 1,5 %), светло-серых лесных почв (от 3 % до 4 %), серых лесных почв (от 4 % до 5 %), темно-серых лесных почв (от 5 % до 6 %), а также темно-каштановых (от 4 % до 5 %) и каштановых почв (от 2 % до 3 %), то есть для почв с содержанием гумуса в пределах от 0,5 % до 6 %. Но эта корреляция не сохраняется для лугово-черноземных почв, черноземов оподзоленных, выщелоченных, типичных и других зональных почв черноземной зоны, где гумусированность пахотного слоя возрастает до 6 % – 8 %. В таблице 19 приведено соотношение коэффициентов отражения песчаных почв Белоруссии и содержания гумуса для 6 групп почв. При малом содержании гумуса эта связь очень четкая, а при содержании более 3 % становится более неопределенной.

Таблица 19 – Соотношение между коэффициентами отражения и содержанием гумуса в песчаных почвах Белоруссии (по Зборищуку, 1994)

Содержание гумуса, %	Коэффициент отражения
0 – 0,5	15,2 – 25,6
0,6 – 1,1	7,8 – 12,4
1,2 – 2,2	6,0 – 7,3
2,3 – 3,4	5,0 – 5,6
3,5 – 6,3	4,8 – 5,6
> 6,3	4,8 – 5,0

По опыту работы с космическими снимками, полученными сканирующей системой «Фрагмент» на территорию Северного Предкавказья, для каштановых почв оказалось возможным выделить по яркости изображения градаций гумусности от 2,2 % до 5,3 %. Таким образом, дистанционный мониторинг содержания гумуса возможен для почв лесной, лесостепной и сухостепной зон с содержанием гумуса не более 6 % и

проблематично для северной и южной периферии степной зоны. Центральная же часть степной зоны с черноземами мощными, тучными совсем не дает такой возможности, поскольку изменение гумусности при высоком содержании гумуса не вызывает изменения коэффициентов спектральной яркости почв [22].

Наибольшее влияние гумуса на спектральные свойства почв проявляется в области длин волн от 700 до 750 нм. Анализ большого набора почв, как современных, так и погребенных, показал, что связь между коэффициентом отражения света при 750 (700) нм и содержанием органического углерода выражается зависимостью, близкой к экспоненциальной. При высоком содержании гумуса окраска почвы обусловлена практически только органическим веществом и мало меняется при увеличении его содержания. При уменьшении количества гумуса отражение начинает быстро нарастать, приближаясь к отражательной способности породы. По данным Б.В. Виноградова, такая связь для поверхностных горизонтов почв лесостепной и степной зон описывается функцией вида

$$\rho_{\lambda} = \rho_{min} + (\rho_0 - \rho_{min}) \cdot e^{kH}, \quad (5)$$

где ρ_{λ} – коэффициент спектрального отражения почвы;

ρ_0 – то же для безгумусной почвообразующей породы;

ρ_{min} – то же для многогумусной почвы;

H – содержание гумуса (%);

k – константа.

При анализе функции $\rho(H)$ при $H = 0$ величина $\rho_{\lambda} = \rho_0$, при $H > 10$ % величина $\rho_{\lambda} \rightarrow \rho_{min}$.

Аналогичная зависимость для поверхностных горизонтов почв подзоны Южной тайги и юга Восточной Сибири и Северной Монголии получена

Д.С. Орловым, Н.И. Сухановой. Зависимость $\rho_{750} - H$ (гумус), по их данным, для подзоны Южной тайги выражается следующими уравнениями: $\rho_{750} = 50,1 \times e^{-0,063H} + 8,4$ – для образцов, взятых с территории над лесом, и $\rho_{750} = 35,5 \cdot e^{-0,043H} + 9,0$ – для образцов, взятых с безлесной территории; для юга Восточной Сибири и Северной Монголии – $\rho_{750} = 34,8 \cdot e^{-0,34H} + 13,5$.

Зависимость между СКО ρ_{750} и содержанием гумуса для почв лесостепной зоны Башкирии, по данным Д.С. Орлова, Е.И. Розановой, Ф.Х. Хазиева, выражается уравнением $\rho_{750} = 35,5 \cdot e^{-0,60H} + 8,5$.

Коэффициенты корреляции между $\ln \rho_{750}$ и H достаточно высоки и равны 0,8 – 0,9.

Параметры уравнений зависимости $\rho_{750} - \text{гумус}$ различаются для почв разных зон и разных генетических типов, хотя характер зависимости остается постоянным.

Предельные величины содержания органического вещества в образцах, при которых возможна его оценка по спектральной отражательной способности, определяется региональными особенностями почв и рассчитываются по кривой зависимости $\rho_{750} - H$.

Экспоненциальная зависимость коэффициентов отражения ρ_{750} от содержания гумуса выводится путем усреднения большого числа данных, а результаты единичных измерений колеблются в широких пределах. Это объясняется наложением других факторов, а именно: содержания железа, разнокачественностью органического вещества и почвообразующих пород и др.

Большие отклонения от средних не позволяют пока говорить о возможности определения содержания органического вещества в почвах по коэффициентам отражения единичных образцов, но при дистанционных измерениях СКЯ прибор автоматически усредняет значения для больших площадей, что существенно снижает разброс данных [8].

Степень эродированности почв

На космических снимках находит отображение такое важнейшее динамическое свойство почвенного покрова, как эродированность почв, развитие которой нередко связано с неблагоприятными последствиями хозяйственной деятельности.

Эродированность почв может быть следствием либо водной эрозии, либо ветровой дефляции. Основным фактором водной эрозии является поверхностный сток. Режим стока зависит от осадков, условий рельефа, инфильтрационных свойств почв, их структуры, характера растительного покрова, использования земель и многих других показателей. Поэтому дешифрирование снимков при изучении процессов водной эрозии почв требует понимания закономерностей пространственных взаимосвязей компонентов ландшафта, комплексного географического подхода.

Водная эрозия вызывает последствия двоякого вида. Деятельность текучей воды на склонах даже относительно небольшой крутизны (от 3° до 5°) приводит к поверхностному (плоскостному) смыву наиболее гумусированной верхней части гумусного горизонта почв, а на более крутых склонах – к линейной эрозии, развитию форм водно-эрозионного рельефа – потяжин, борозд, оврагов, часто приуроченных к древним эрозионным формам – оврагам и балкам.

Плоскостной смыв почв приводит к изменению окраски пахотного слоя, различному у почв разных генетических типов и при разной степени смыва. Так, дерново-подзолистые суглинистые почвы даже при слабом смыве имеют обычно белесую окраску. При среднем, а также сильном смыве за счет выхода на поверхность пахотного горизонта пахотный слой этих почв получает бурую или желто-бурую окраску, что находит отображение на цветных или многозональных снимках [22].

Изучение отражательной способности смытых светло-серых лесных и серых лесных почв показало, что в этом случае эродированные почвы в связи с меньшим содержанием гумуса и иловатых частиц изображаются на

снимках более светлыми тонами по сравнению с неподверженными смыву. Таким образом, открывается возможность дешифрирования участков плоскостной эрозии на распаханых полях по прямым признакам. При этом опыт дешифрирования показывает, что наибольшая контрастность в тонах изображения наблюдается на свежеспаханных участках или участках с молодыми всходами. На полях с развитыми посевами на смытость почв может указывать состояние посевов, их изреженность; однако она может быть обусловлена и другими факторами (например, вымоканием). Стерня почти полностью нивелирует разницу в тонах изображения почв разной степени смытости. На участках, занятых естественным растительным покровом значительной сомкнутости, прямые признаки плоскостного смыва почв использовать также не удастся.

В степной зоне многие генетические типы почв обладают достаточно мощным гумусовым горизонтом, и в случае небольшой разницы в оттенках горизонта А и горизонта АВ очень трудно уловить, смыт ли горизонт А эрозией. Это относится в первую очередь к черноземам обыкновенным и типичным. В то же время у черноземных почв южной части степной зоны изображение почв разной степени эродированности дифференцируется. При слабом смыве почв смывается только часть горизонта А, оставшаяся его часть сохраняет тот же темный оттенок, который характерен для несмытых гумусированных горизонтов. Поэтому у слабосмытых почв не происходит изменений в окраске поверхности почвы и они не имеют специфического рисунка изображения на снимках. Среднесмытые почвы характеризуются значительной степенью смытости горизонта А, поэтому при их распашке местами неравномерно припахивается и горизонт В палевого цвета. Поверхность пашен на участках среднесмытых почв оказывается пестрой.

Сильносмытые почвы характеризуются полностью смытым горизонтом А и затронутым смывом горизонтом В. Поэтому на снимках сильносмытые почвы имеют пестрый, нечетко пятнистый рисунок с преобладанием более светлых тонов по сравнению с рисунком изображения среднесмытых почв.

При сильной степени смытости почв, особенно карбонатных черноземов на известняках и меловых породах, участки смытых почв приобретают белесый оттенок и выделяются на снимках светлым тоном [22].

В особенности это относится к смытым щебнистым почвам — при водной эрозии почв из верхнего горизонта выносятся мелкозем, а щебенка проектируется на поверхность, и чем интенсивнее смыв почв, тем светлее окраска контуров на снимках.

Отображение смыва почв представлено на рисунке 14, где приведен фрагмент фотографического снимка с первой орбитальной станции Салют на участок Колыванского увала в предгорьях Западного Алтая с южными черноземами.



Рисунок 14 – Смытые почвы на участке Колыванского увала в предгорьях Западного Алтая. Снимок с орбитальной станции Салют

В рисунке изображения четко выражены микроложбины и потяжины на распаханых полях, не занятых посевами сельскохозяйственных культур, или с посевами на ранних стадиях развития. Чередование светлых полос

смытых почв на микроводоразделах и склонах с темными полосами намытых, более гумусированных почв по днищам микроложбин и потяжинам создает характерный полосчатый или струйчатый рисунок, который указывает на характер микрорельефа и четко разграничивает участки развития плоскостного и микроструйчатого смыва. На полях, занятых густыми посевами многолетних трав, этот рисунок не просматривается [22].

На космических снимках дешифрируются линейные формы эрозии. Формы овражной эрозии (водороины, овраги) изображаются только на снимках самого высокого разрешения (от 1 до 2 м) в виде узких, четко очерченных контуров зазубренной формы. Из-за смыва почв тон изображения оврагов обычно очень светлый, бровка может быть подчеркнута тенью. По форме и размеру изображения оврагов можно судить о стадии оврагообразования и степени активности эрозионного рельефа. Активно растущие водороины и овраги в начальной стадии развития имеют широкую овальную вершину с крутой задней стенкой, а овраги, прекратившие линейный рост, – остроконечную в плане вершину, полого спускающуюся заднюю стенку, задернованные более пологие склоны.

Эти признаки, выявленные по аэрофотоснимкам, сохраняются и при использовании космических снимков самого высокого субметрового и метрового разрешения. На снимках с разрешением более 10 м овраги, как правило, не отображаются, но хорошо выделяется сеть балок, имеющих вытянутую извилистую древовидную форму. Днища и склоны балок обычно заняты естественной растительностью, более густой влаголюбивой в нижних частях склонов и по днищам, что обуславливает более темный тон их изображения. Балочная сеть в степной зоне дешифрируется на снимках с разрешением в десятки и первые сотни метров благодаря тому, что склоны балок с естественной луговой растительностью, кустарниками и балочными лесами четко выделяются среди распаханых полей.

Очень выразительное изображение густой овражно-балочной сети можно видеть на снимке со спутника Landsat на участок Среднерусской возвышенности в пределах Курской области (рисунок 15).

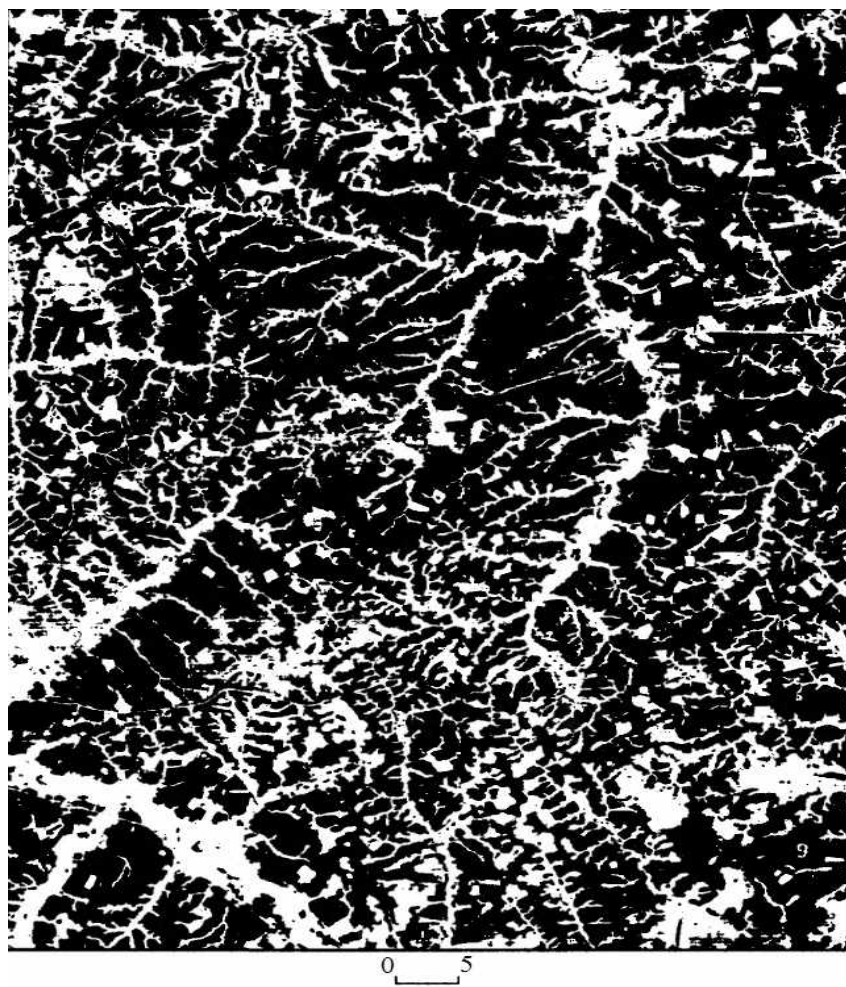


Рисунок 15 – Густая овражно-балочная сеть в Центральнoчерноземной области. Снимок MSS/Landsat

Снимок сделан в апреле, вскоре после схода снежного покрова. Черным тоном изобразились распаханые сельскохозяйственные поля с черноземными почвами. Характерную особенность снимка составляет древовидный рисунок изображения, обусловленный интенсивным развитием в этом районе эрозионных процессов и формированием густой овражно-балочной сети. Нераспаханные склоны балок, занятые травянистой или

кустарниковой растительностью, изобразились на этом снимке, сделанном в ближней инфракрасной зоне, белым тоном, резко контрастирующим с темным тоном распаханых полей с черноземными почвами. В отдельных случаях вдоль бровок эрозионных форм сохранились навесные снежники, еще сильнее подчеркивающие контуры оврагов и балок [22].

В районах, характеризующихся развитием почв легкого механического состава и сильными ветрами, существуют предпосылки для развития ветровой дефляции почв, которую может спровоцировать уничтожение естественного растительного покрова, распашка территории (рисунок 16).

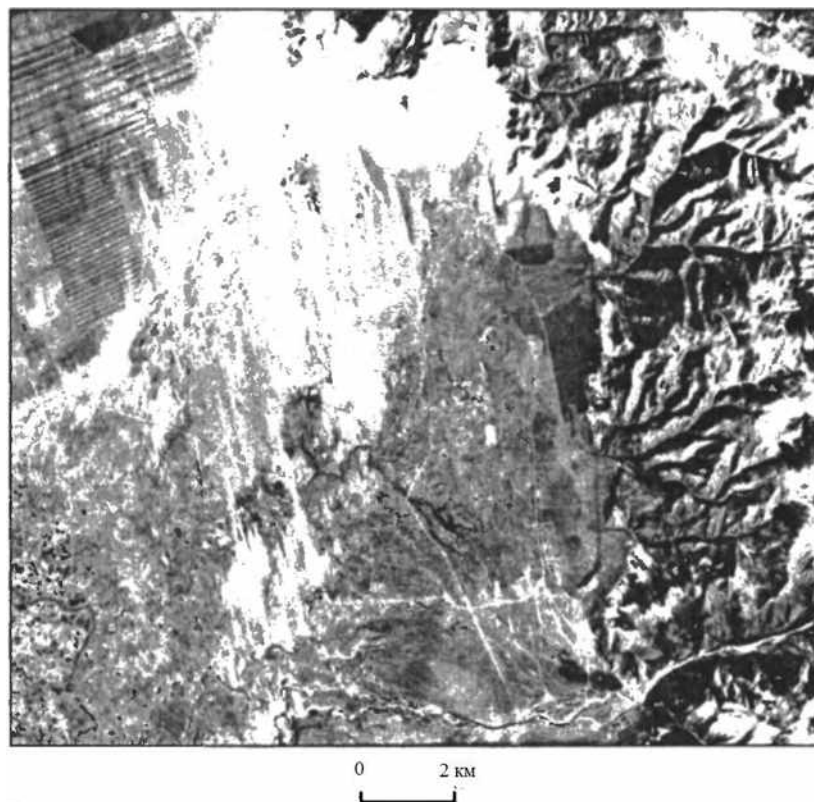


Рисунок 16 – Участки дефляции почв в Баргузинской котловине. Снимок КФА-ЮОО/Ресурс-Ф

Ветровое выдувание почв отображается на снимках освещением фототона. Светлые пятна дефлированных почв имеют мягкие расплывчатые контуры. Характерна вытянутость этих пятен в ленты и ориентировка их по

направлению преобладающих ветров. В результате ветрового перераспределения материала и формирования эолового микрорельефа образуется струйчатый или ячеистый рисунок изображения, указывающий на интенсивное развитие дефляционных процессов. Он четко выделяется, например, на снимках участка Баргузинской котловины (рисунок 16).

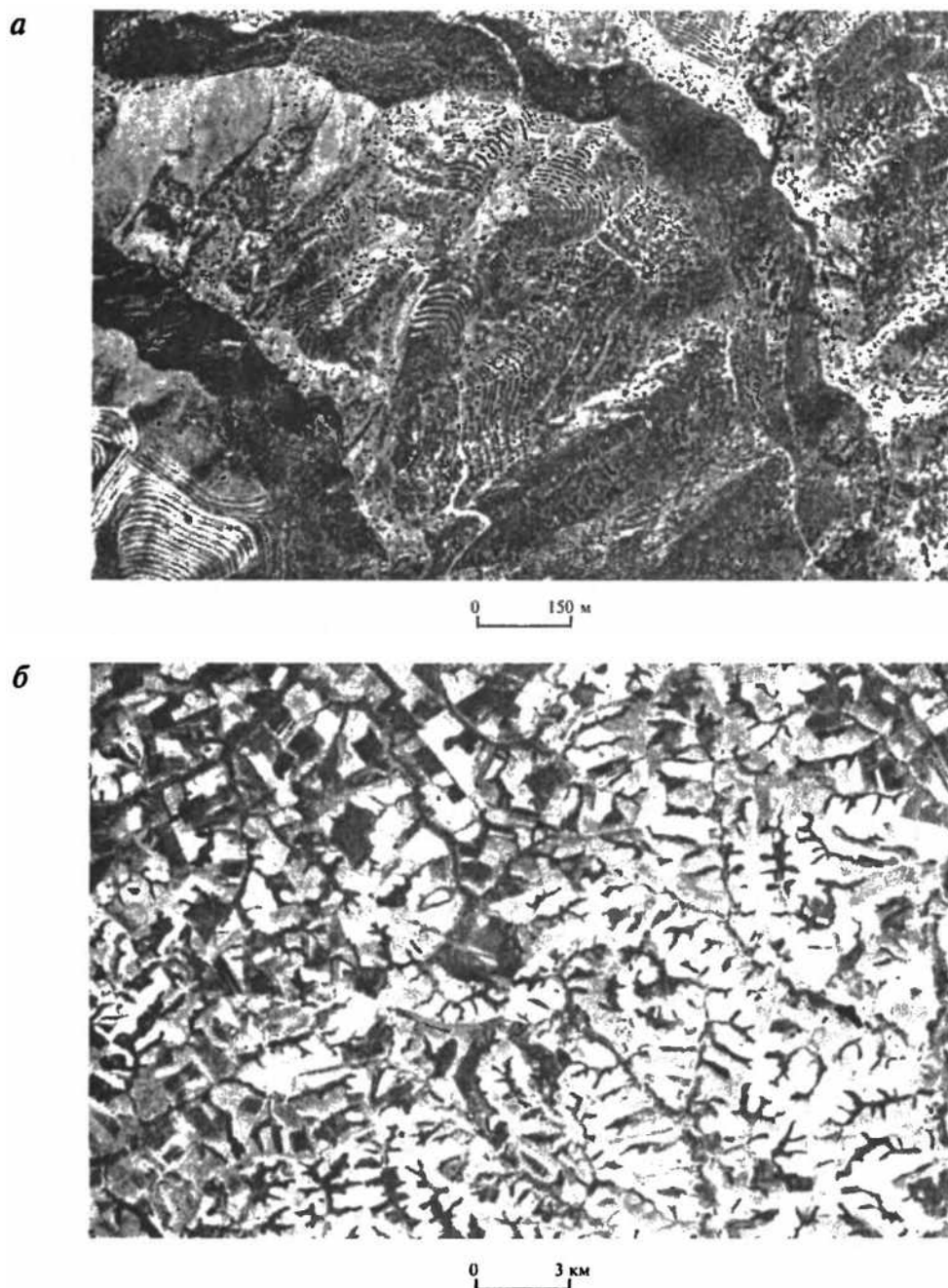
Сквозь рисунок эолового рельефа просвечивают прямоугольные контуры полей, распашка которых и привела к развитию ветровой дефляции почв.

Важно, что космические снимки не только позволяют судить о развитии и интенсивности процессов водной эрозии и ветровой дефляции почв, но и отображают агротехнические мероприятия, направленные на их предотвращение, борьбу с ними – проведение механической обработки почв вдоль склонов, с учетом рельефа (реализация адаптивного контурного земледелия), террасирование склонов (рисунок 17, а).

Другой вид агротехнических мероприятий – изъятие из сельскохозяйственного использования и облесение верховьев и склонов балок. Например, рисунок 17, б показывает, что на правобережье Сейма между Курском и Льговом эти мероприятия носят повсеместный характер. Снимки в известной мере позволяют контролировать эффективность агротехнических и лесомелиоративных мероприятий [22].

Оценка степени эродированности основана на закономерных изменениях СКО по почвенному профилю. Особенно важны такие оценки для пахотных почв. Вспашка смытых и несмытых почв проводится обычно на одинаковую глубину, и верхний пахотный слой может быть представлен смесью двух или нескольких генетических горизонтов. Количественное соотношение масс различных генетических горизонтов в формирующемся горизонте $A_{\text{пах}}$ зависит от строения профиля, степени смытости и глубины вспашки. Для почв с разной окраской горизонтов по результатам измерений коэффициентов отражения света можно оценить степень припахивания нижележащих горизонтов. Количественный анализ возможен, если известны

коэффициенты отражения отдельных горизонтов и отношение их объемов (масс, если удельные веса компонентов различаются несущественно).



а - террасированное земледелие в районах с расчлененным рельефом;
б – облесение верховьев и склонов балок.

Рисунок 17 – Противоэрозионные мероприятия

Для оценки смывости дерновоподзолистых почв предлагается использовать показатели ρ_{750} и $\Delta\rho = \rho_{620} - \rho_{470}$ [8].

Зависимость между коэффициентом отражения неоднородных по окраске горизонтов и коэффициентами отражения двух составляющих горизонтов линейная и выражается формулой

$$\rho_{750} = 0,01X(\rho_{750}^0 - \rho_{750}^{100}) + \rho_{750}^0, \quad (6)$$

где X – доля горизонта В (%);

$$\rho_{750}^0 = \rho_{750} \text{ при доле } A_2 = 100 \%, B = 0;$$

$$\rho_{750}^{100} = \rho_{750} \text{ при доле } A_2 = 0, B = 100 \%.$$

Зависимость величины $\Delta\rho$ при заданном уровне $A_{\text{пах}}$ от соотношения масс горизонтов A_2 и В линейная и записывается уравнением

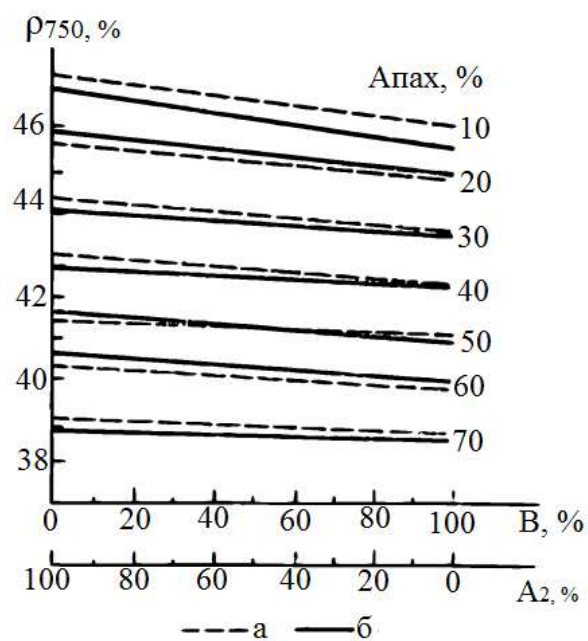
$$\Delta\rho = 0,01X(\Delta\rho^0 - \Delta\rho^{100}) + \Delta\rho^0, \quad (7)$$

где X – доля горизонта В (%);

$$\Delta\rho^0 = \Delta\rho \text{ при } A_2 = 100 \%, B = C,$$

$$\Delta\rho^{100} = \Delta\rho \text{ при } A_2 = 0, B = 100 \%.$$

Решение задачи по оценке степени эродированности пахотных почв решается в два этапа. Первый этап включает составление двух или трехкомпонентных (в зависимости от поставленной задачи) модельных смесей генетических горизонтов незэродированной почвы, съемку спектров отражения этих смесей и вычисление спектральных коэффициентов ρ_{750} и $\Delta\rho_{18}$. Результаты представляются в виде графиков-диаграмм (рисунки 18, 19).



а – теоретическая зависимость; б – экспериментальная.

Рисунок 18 – Изменение ρ_{750} в трехкомпонентных смесях $A_{\text{пах}} + A_2 + B$ для заданных уровней $A_{\text{пах}}$

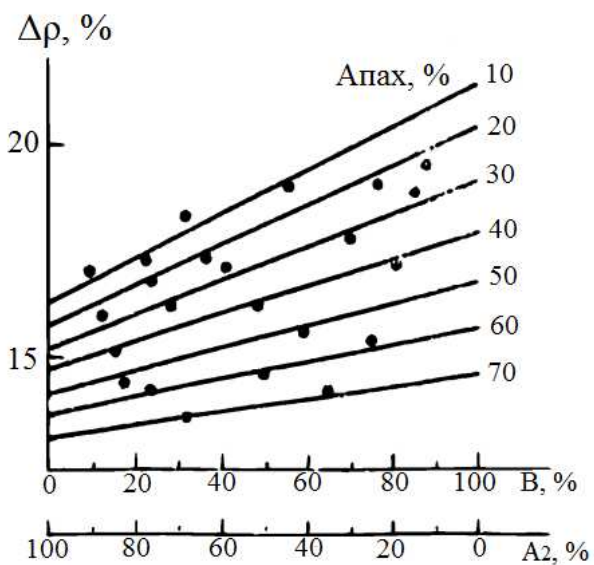


Рисунок 19 – Изменение $\Delta\rho$ в трехкомпонентных смесях $A_{\text{пах}} + A_2 + B$ для заданных уровней $A_{\text{пах}}$

На втором этапе проводится съемка спектра отражения пахотного горизонта эродированной почвы и вычисление спектральных коэффициентов ρ_{750} и $\Delta\rho$.

В случае припашки трех различных по цветовым характеристикам горизонтов соотношение их масс в трехкомпонентной смеси можно найти, если определить сначала по коэффициенту ρ_{750} уровень содержания горизонта $A_{\text{пах}}$, а затем по графику (рисунки 18, 19) для найденного уровня $A_{\text{пах}}$ определить по $\Delta\rho$ соотношение масс горизонтов A_2 и B .

Для трехкомпонентных модельных смесей удобной формой представления результатов являются треугольные диаграммы (рисунки 20, 21).

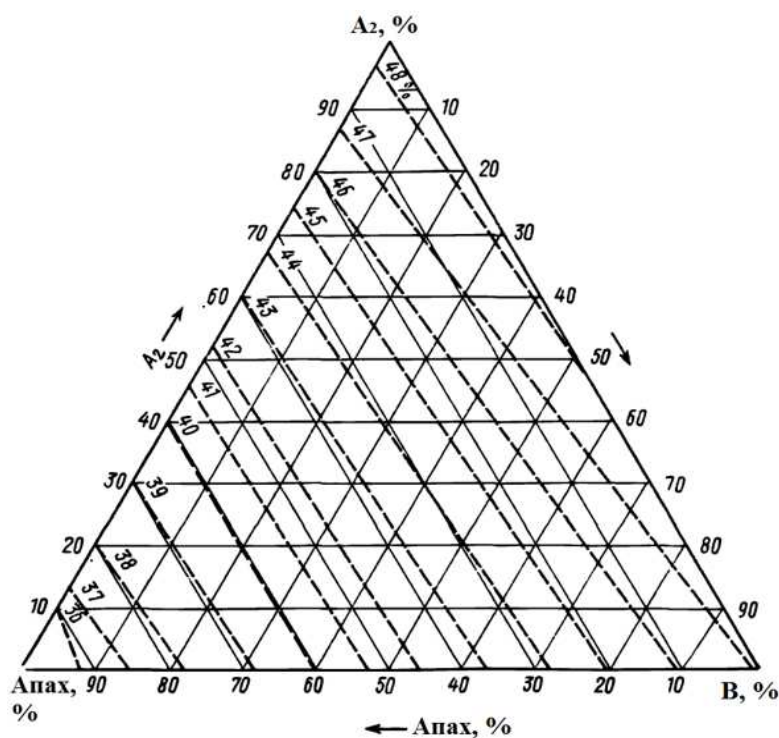


Рисунок 20 – Диаграмма коэффициента ρ_{750} (прерывистые линии) в трехкомпонентной смеси горизонтов $A_{\text{пах}} + A_2 + B$

Они позволяют рассмотреть все возможные варианты соотношений масс горизонтов. Любая точка внутри диаграммы соответствует конкретному процентному составу трехкомпонентной смеси. Стороны характеризуют

двухкомпонентные смеси, когда содержание третьего компонента равно нулю.

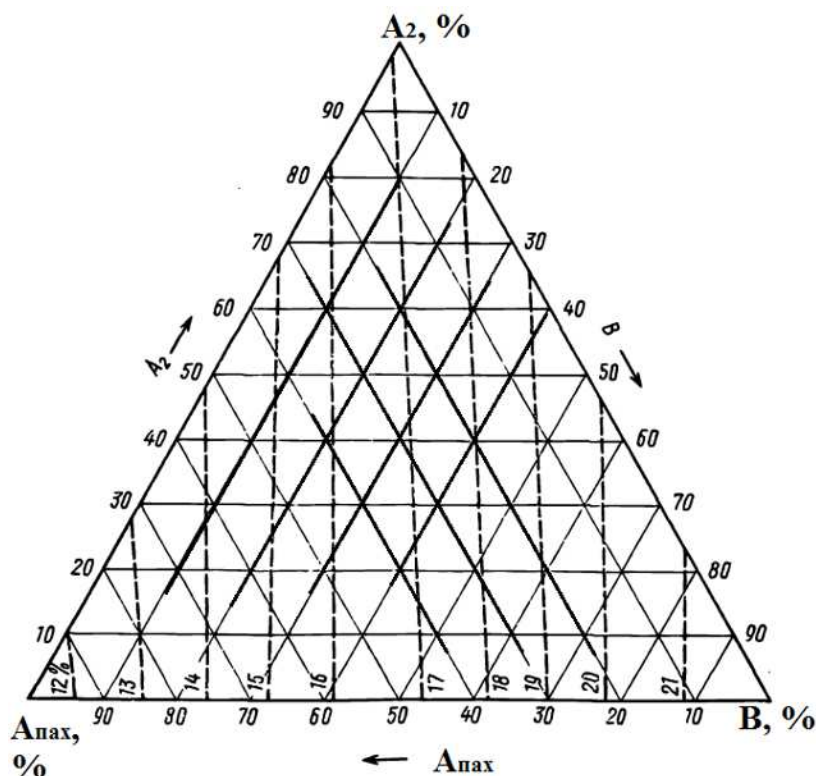


Рисунок 21 – Диаграмма коэффициента $\Delta\rho$ (пунктирные линии) в трехкомпонентной смеси горизонтов $A_{\text{пах}} + A_2 + B$

На первую диаграмму (рисунок 20) наносятся значения ρ_{750} для каждого соотношения масс горизонтов, измеренные в модельном опыте. По целочисленным значениям ρ_{750} проводятся изолинии ρ_{750} (штриховые линии). Аналогично на вторую диаграмму (рисунок 21) наносятся изолинии $\Delta\rho$. При наложении диаграмм изолинии ρ_{750} и $\Delta\rho$ пересекаются. Образуется сетка четырехугольников, каждый из которых отвечает конкретной смеси с небольшим диапазоном колебаний состава.

Зная значения ρ_{750} и $\Delta\rho$ пахотных горизонтов эродированной почвы склона, находим на диаграмме пересечение соответствующих значений ρ_{750} и

Δp (рисунок 22, точка а), а по сторонам диаграммы определяем процентные соотношения припаханных горизонтов [8].

По соотношению припаханных горизонтов несложно отнести контролируемую почву в соответствующую градацию классификации по эродированности.

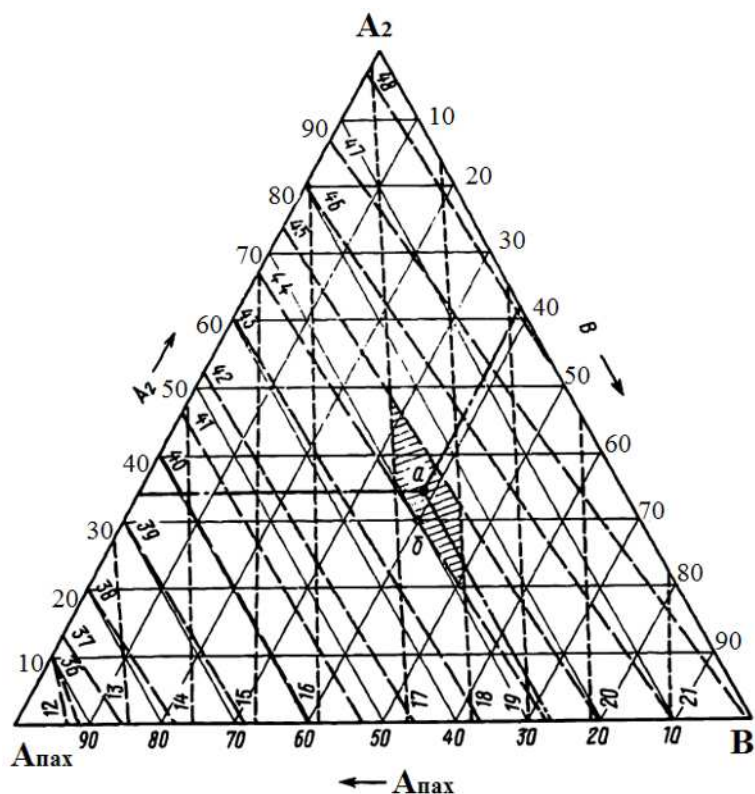


Рисунок 22 – Диаграмма коэффициентов ρ_{750} и Δp в трехкомпонентной смеси горизонтов $A_{\text{пах}} + A_2 + B$

Содержание легкорастворимых солей в почве

Характеристика почв с точки зрения засоления имеет исключительно важное значение для сельского хозяйства на территориях с недостаточным увлажнением. Засоление относится к числу наиболее динамичных параметров почвы и требует, особенно в условиях орошения, частого (через 3 – 5 лет) проведения повторных солевых съемок, что связано с огромными

затратами труда. Отсюда необходимость обращения к дистанционным методам.

Довольно высокой информативностью в отношении засоления отличается традиционная съемка в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Выявление засоленных земель по космическим снимкам возможно как по прямым, так и по косвенным признакам. Прямыми признаками засоленных территорий являются выцветы солей или образование солевых корок, которые обычно изображаются на снимках очень ярким, почти белым тоном [22].

Использование косвенных дешифровочных признаков связано с тем, что повышенное содержание солей оказывает влияние на растительный покров. При глубоком залегании грунтовых вод повышенное содержание солей вызывает обычно разреженность растительного покрова и угнетение зональной растительности. При гидроморфных режимах на засоленных местообитаниях могут развиваться солончаковые луга, обладающие в ряде случаев густым, сочным травостоем, который становится разреженным только при значительном засолении.

Поскольку локальное распределение солей сильно зависит от особенностей микрорельефа, то для засоленных территорий характерна комплексность почвенно-растительного покрова, обуславливающая пятнистое изображение на космических снимках.

По снимкам удастся визуальное дешифрировать засоленные земли с разделением трех стадий солевого подпитывания: начальной (высокая влажность при практическом отсутствии засоления), промежуточной (солеустойчивая растительность и избыток влаги в почве) и зрелой (солевая корка на поверхности).

Наиболее четко отображается на космических снимках и дешифрируется по прямым признакам засоление почв в зрелой стадии. Солевые корки на поверхности почв имеют яркий белый тон изображения на снимках в видимой части спектра. Обширные площади солончаков в

депрессиях на месте высыхающих временных водоемов повторяют «по горизонтали» их контуры; белый тон таких сухих солончаков в наиболее низкой части депрессии может сменяться более темным тоном влажных или мокрых солончаков. В зависимости от сезонных или погодных условий и весь контур солончака может менять тон изображения от белого (для сухого) до темно-серого (для мокрого солончака).

Контуры солевых корок, образующихся в автоморфных условиях, при выпотном режиме на местах выклинивания обогащенных солями фунтовых вод, обычно также четкие. Они характеризуются округло-изрезанными границами и при массовом распространении корок образуют ажурный кружевной рисунок; типичный пример представляет изображение земель вторичного засоления по периферии оазисов Мургаб и Теджен в восточных Каракумах (рисунок 23) [22].

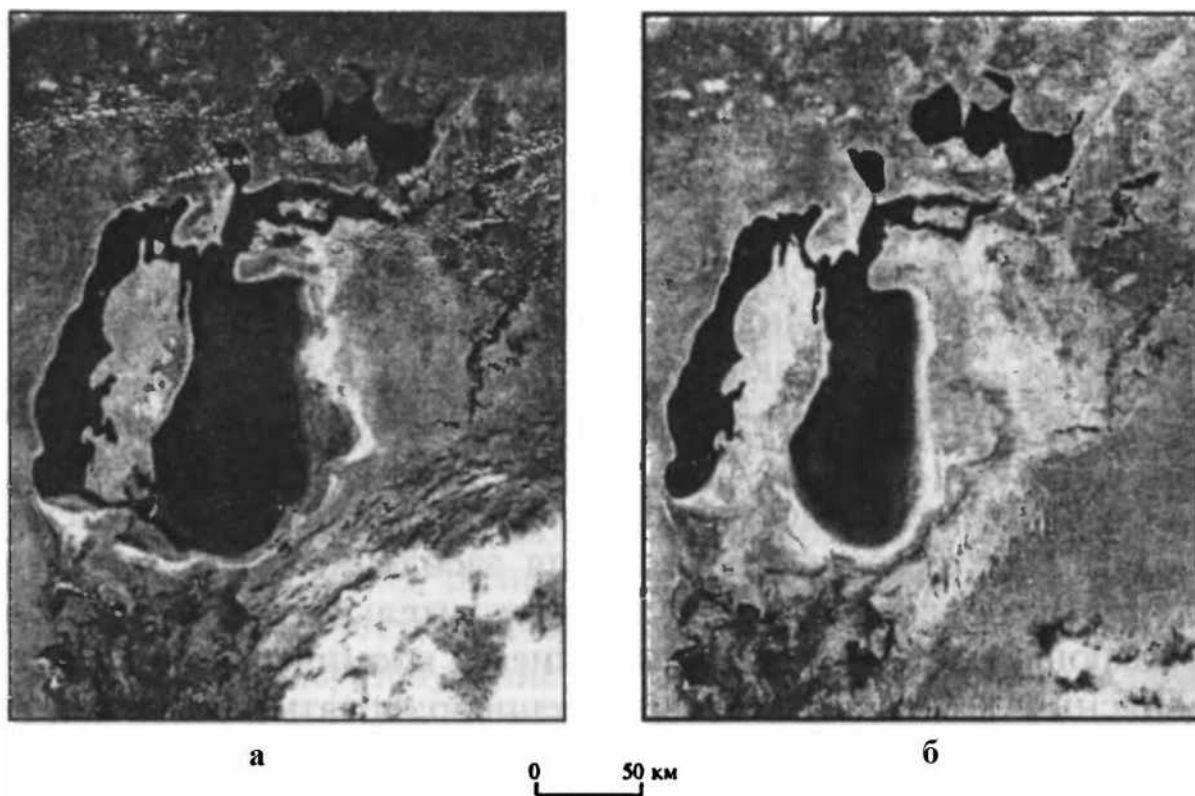
На рисунке 24 приведены разносезонные снимки усыхающего Арала и Приаралья.

Анализируя серию разносезонных снимков, можно проследить «жизнь» солевых корок на участках дна, недавно вышедших из-под уровня моря (рисунок 25), – образование корок весной по периферии широкой полосы увлажненного грунта вокруг берегов, затем их высыхание и разрушение процессами дефляции и образование новых корок по периферии сужающейся к лету полосы увлажнения.

Для разделения изображения солончаков и песков, часто соседствующих в аридных районах и также изображающихся светлыми тонами, можно использовать характер рисунка контуров. Контуры песков обычно имеют не столь изрезанные и четкие границы, и для них характерно наличие шлейфов, вытянутых по направлению господствующих ветров, или других форм эолового рельефа. Если пески имеют характерную окраску (желтые, красноцветные), для отделения их от солончаков целесообразно сравнить снимки в разных зонах спектра.

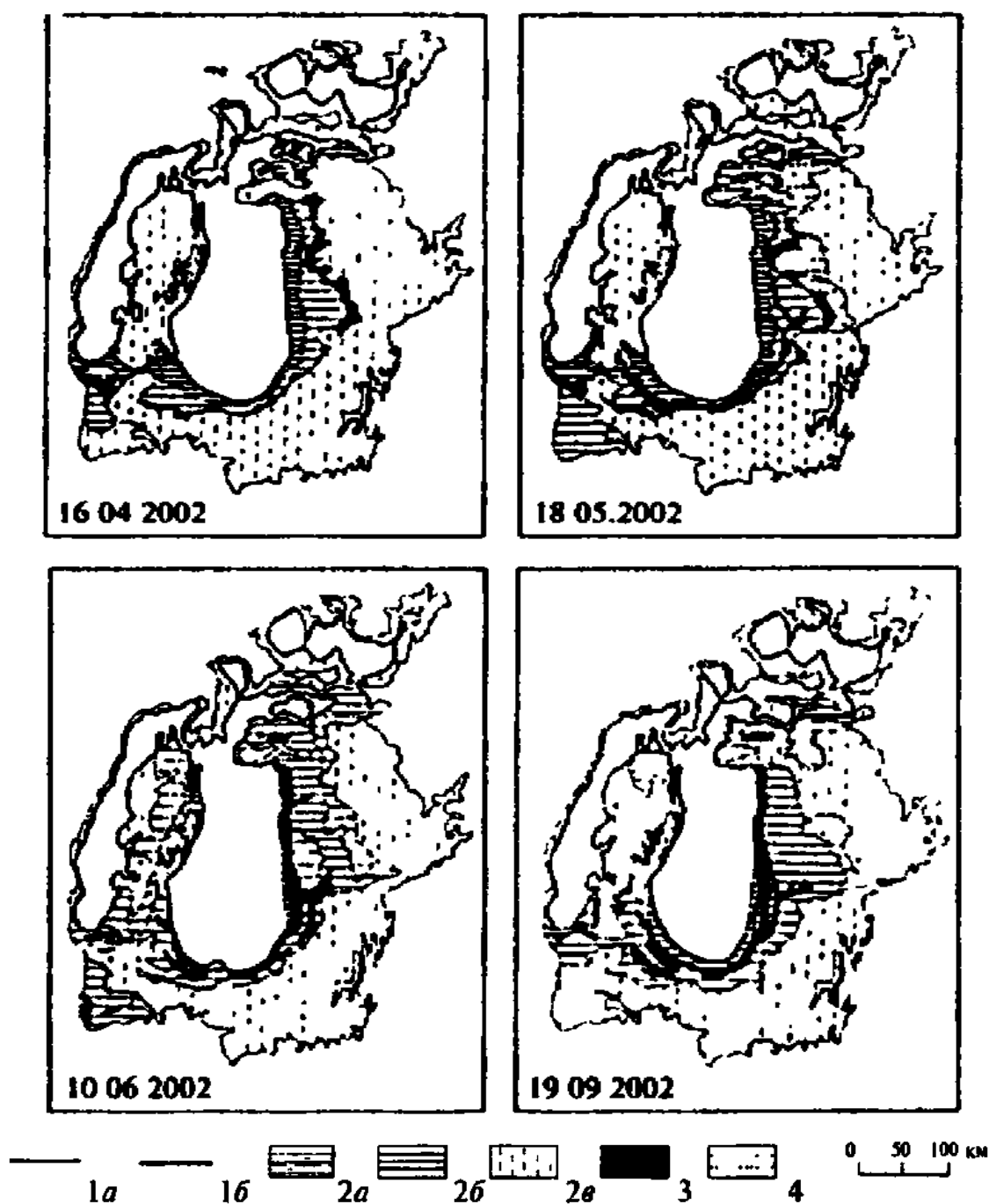


Рисунок 23 – Вторичное засоление земель по периферии Мургабского оазиса в Туркмении. Снимок КАТЭ-140/Салют-4



а – 16 апреля 2002 г.; б – 24 сентября 2002 г.

Рисунок 24 – Изображение Арала и Приаралья на разносезонных снимках MODIS/7Wra



1 – береговая линия моря: а – 1961 г.; б – 2002 г.; 2 – участки бывшего морского дна: 2а – сильно увлажненные; 2б – увлажненные; 2в – сухие; 3 – солевые корки; 4 – участки осаждения солей в результате разветвления солевых корок.

Рисунок 25 – Сезонная динамика увлажнения грунта, образования и разрушения солевых корок в Приаралье

Промежуточные стадии засоления почв не имеют столь четко выраженных внешних признаков и их дешифрирование опирается на косвенные индикационные методы, на анализ распространения солевыносливой растительности – фреатофитов, который при хорошей наземной проработке связей может позволить судить даже о типе засоления [22].

Оценка влияния солей на отражательные свойства почв очень сложна из-за высокой миграционной способности солей, неравномерности их площадного и профильного распределения, влияния влажности и времени года. Кроме того, в засоленных почвах состав солей, как правило, неоднороден. В почвах различных почвенно-географических регионов могут присутствовать соли CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, MgCO_3 , MgSO_4 , NaCl , CaCl_2 и др. В растертом состоянии они все белого цвета, но когда они находятся в почве, их влияние на отражаемый поток света зависит от многих факторов. Как показали модельные эксперименты, добавление в почву бесцветных или белых в растертом состоянии солей не влияет на характер спектра, меняется только интенсивность отражения света практически равномерно по всему диапазону длин волн. Изучение влияния содержания солей на величину ρ_{750} проводилось в модельном эксперименте по спектрофотометрированию смесей NaCl , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с черноземом или гематитом соответственно. Количественная связь в таком идеальном случае выражается в виде уравнения

$$\rho_{\lambda} = \rho_0 + n \cdot e^{-k\Pi}, \quad (8)$$

где ρ_{λ} – спектральный коэффициент отражения при длине волны λ ;

ρ_0 – коэффициент отражения незаселенной почвы;

Π – доля исходной незасоленной почвы в смеси;

k и n – постоянные;

e – основание натуральных логарифмов.

Однако в реальных условиях картина влияния может быть самой разнообразной. Для сильнозасоленных почв Апшеронского полуострова с очень широким интервалом концентраций солей (плотный остаток от 4 % до 99 %) зависимость между отражением и засолением имеет линейный характер. В целинных гидроморфных почвах сероземной зоны Узбекистана величина ρ_{750} возрастает при увеличении концентрации солей до 2 % – 3 %, далее она остается практически постоянной [8].

Степень влияния легкорастворимых солей на спектральную отражательную способность зависит от сезона наблюдений и типа почв. Так, например, сопоставление величин ρ_{750} с весенним содержанием ионов Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} не выявило значимых корреляционных связей в засоленных, целинных почвах сероземной зоны.

Весной статистически значимую зависимость между ρ_{750} и содержанием Cl^- удалось выявить только для солончаков луговых и солончаков лугово-болотно-глеевых при уровнях содержания Cl^- более 1,5 мг экв/100 г.

Соответствующая зависимость выражается линейной функцией вида

$$\rho_{750} = \rho_0 + 0,40 \cdot [\text{Cl}^-], \quad (9)$$

где $\rho_0 = 25,3$ – величина ρ_{750} при содержании $[\text{Cl}^-]$, равном нулю;

$[\text{Cl}^-]$ – содержание Cl^- в мг экв/100 г.;

0,40 – коэффициент регрессии.

Параметры и вид уравнения сопоставимы с данными Д.С. Орлова с соавторами для засоленных почв Апшеронского полуострова.

Из катионов значимая связь с величиной ρ_{750} солончаков выявлена для Ca^{2+} . Зависимость выражается степенной функцией вида

$$\rho_{750} = \rho_0 + 0,03 \cdot [Ca^{2+}]^{2,52}, \quad (10)$$

где $[Ca^{2+}]$ – содержание ионов кальция (мг экв/100 г);

ρ_0 – величины ρ_{750} при $[Ca^{2+}] = 0$; 0,03 и 2,52 – коэффициенты регрессии.

Осенью уровень засоления целинных почв увеличивается и влияние солей на отражательную способность становится более значительно. Так, для величины суммы солей всех засоленных почвенных разностей сероземной зоны и ρ_{750} просчитана количественная связь, выражаемая уравнением степенной функции

$$\rho_{750} = \rho_0 + 5,9 \cdot \sum S^{0,23}, \quad (11)$$

где $\rho_0 = 37$ – величина ρ_{750} при сумме солей, равной 0.

Статистически значимые связи были также получены для осенней выборки всех почв между ρ_{750} и количеством ионов Na^+ и SO_4^{2-} , которые выражаются уравнениями вида

$$\rho_{750} = 37 + 4,2 [Na^+]^{0,22}, \quad (12)$$

$$\rho_{750} = 37 + 3,5 [SO_4^{2-}]^{0,26}. \quad (13)$$

Обозначения те же.

Влияние Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- на величины ρ_{750} в осенний период при обнаруженных концентрациях не проявилось.

Следует отметить низкие коэффициенты корреляции обнаруженных связей. При уровнях вероятности 0,999 величины их могут составлять 0,57,

0,66, иногда 0,76, в отличие от связи ρ_{750} – содержание органического вещества, где коэффициент корреляции при вероятности 0,95 равен 0,9, т.е. использование их в лабораторной практике не всегда может быть эффективно. Однако для дистанционных измерений, где съемка яркостных характеристик проводится на значительных площадях, усреднение яркостных характеристик может сузить доверительную зону регрессии.

Исследования пахотных почв показали, что связи ρ_{750} с содержанием в почвах легкорастворимых солей очень слабые [8].

Содержание карбонатов в почве

Карбонаты, как и остальные светлые пигменты, увеличивают отражательную способность почв. Оценку влияния карбонатов на отражение имеет смысл проводить только для почв с высоким их содержанием в почвенном профиле. Многие из таких почв довольно часто подвергаются дефляции или эрозии, особенно при неосторожном хозяйственном использовании. Выход на поверхность карбонатных горизонтов или припашка изменяют цветовые характеристики поверхностного слоя почвы. Поиски количественных связей между спектральными характеристиками и содержанием карбонатов оправданы, так как по изменению СКО в зависимости от содержания карбонатов можно оценить степень нарушенности почвенного покрова [8].

По данным О.Н. Бирюковой, для лёссов существует положительная корреляционная связь между величинами коэффициентов отражения ρ_{750} и содержанием карбонатов. Эта связь выражается уравнением прямой вида

$$\rho_{750} = \rho_0 + k(\text{CaCO}_3), \quad (14)$$

где $\rho_0 = 48,5$ – отражение светлой бескарбонатной породы;

$k = 0,37$ – коэффициент регрессии;

(CaCO_3) – содержание карбонатов (%).

Зависимость $\rho_\lambda - \text{CaCO}_3$ имеет линейный характер и на темной бескарбонатной породе. По данным Ю.С. Толчельникова, связь имеет вид

$$\rho_{750} = 2.7 + 0.46(\text{CaCO}_3). \quad (15)$$

По данным Д.С. Орлова, И.С. Илиева, для почв Болгарии коэффициенты уравнения имеют значения $p = 18$, $k = 1,17$.

По данным Б.В. Виноградова, связь $\rho_\lambda - \text{CaCO}_3$ имеет линейный характер для механических смесей или почв, где карбонаты находятся в виде присыпки или мелкообломочных частиц кальцита, а для гумусированных почв, где карбонаты присутствуют в виде новообразований, функция нелинейна

$$\rho_\lambda = \rho_z + (\rho_0 - \rho_z)(1 - \exp(-\alpha \text{CaCO}_3)). \quad (16)$$

где ρ_z – отражение бескарбонатной почвы;

ρ_0 – отражение карбоната кальция;

α – коэффициент уравнения меньше 0;

CaCO_3 – содержание карбонатов (%).

По данным Б.В. Виноградова, до содержания карбонатов около 10 % отражение ρ_λ растет быстро с увеличением количества CaCO_3 , а когда содержание CaCO_3 превысит 10 %, прирост яркости замедляется.

По данным Н.П. Сорокиной, зависимость ρ_Σ типичного чернозема от содержания гумуса (H , %), карбонатов и глубины взятия образца (u , %) также выражается нелинейной логарифмической зависимостью

$$\lg \rho_\Sigma = 1,05 - 0,04H + 0,02(\text{CaCO}_3) + 0,02u. \quad (17)$$

В исследованиях, проведенных Орловым с сотр. по влиянию карбонатов на спектральную отражательную способность рендзин северо-запада Эстонии, поставлен модельный опыт по спектрофотометрированию смесей с различным содержанием CaCO_3 . В качестве исходной почвы взят образец $A_{\text{пах}}$ дерново-карбонатной песчаной почвы. Зависимость ρ_Σ от содержания карбонатов представляет сложную функцию (рисунок 26).

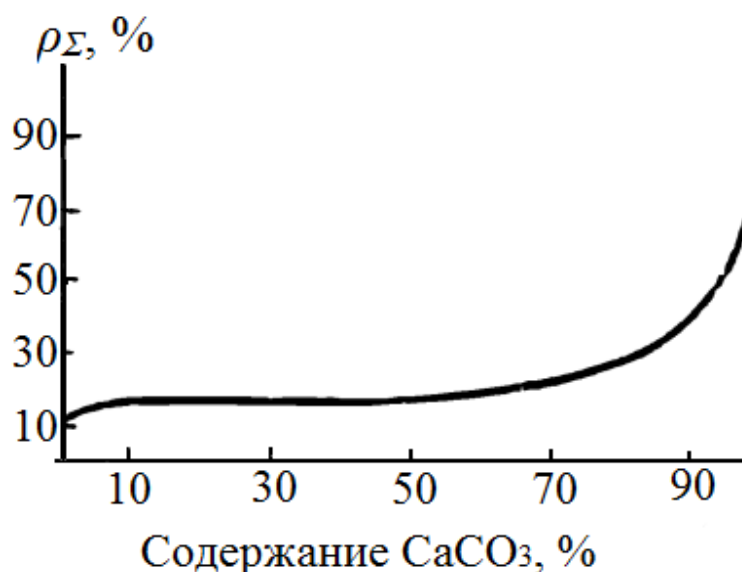


Рисунок 26 – Зависимость величины ρ_Σ от содержания CaCO_3 (модельный опыт)

Рассчитанные коэффициенты вариации для ρ_Σ при каждом содержании карбонатов в среднем не превышают 2 %.

Для рендзин северо-запада Эстонии основным конкурирующим фактором, изменяющим спектральные характеристики по сравнению с карбонатами в противоположную сторону, является содержание гумуса. Разное содержание гумуса, снижающее величину ρ_λ , дает большой разброс на графике зависимости $\rho_\lambda - \text{CaCO}_3$ и мешает количественному определению содержания карбонатов по спектральным характеристикам. Особенно это сказывается при невысоких содержаниях CaCO_3 .

Для того чтобы учесть мешающее влияние содержания гумуса, целесообразно составление графиков в трехмерной системе координат (ρ_{750} (%) – органическое вещество (%) – CaCO_3 (%)) (рисунок 27).

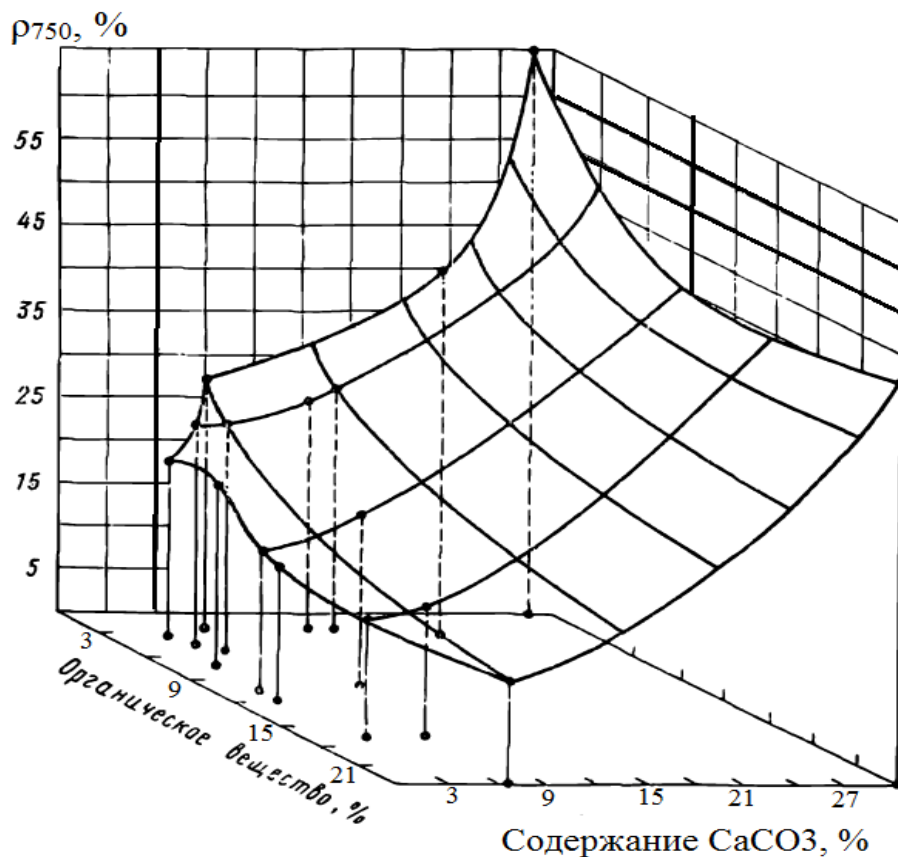


Рисунок 27 – Зависимость величины ρ_{750} от гумуса и карбонатов рендзин северо-запада Эстонии

Использование подобных трехмерных графиков возможно, если установлено преимущественное влияние двух факторов на спектральные коэффициенты отражения. Имея такие номограммы для эталонных участков, можно с достаточной точностью оценивать по коэффициентам отражения изменение влияющих на них показателей. В случаях, когда система многофакторная (не установлено преимущественного влияния одного или двух факторов), требуется привлечение более сложного математического аппарата [8].

Содержание железа в почве

Одним из важнейших компонентов почвы, определяющим ее окраску, являются соединения железа. Отражательная способность соединений железа и их участие в формировании окраски почвенных горизонтов более разнообразны по сравнению с другими красящими веществами. Это связано с многообразием встречающихся в почве соединений железа, резко различающихся между собой по окраске и спектральной отражающей способности (от голубовато-зеленой – для оксидных форм железа (II) до желтоватой и красно-бурой в оксидных формах железа III). Спектральная кривая диффузного отражения порошкообразного Fe_2O_3 имеет характерный перегиб в области длин волн от 530 до 580 нм. Почвы и породы с повышенным содержанием оксидных соединений железа легко выявляются по перегибу в этом диапазоне длин волн. Интервал подъема и положение его средней точки обусловлены характером примесей железа.

На основании результатов исследований влияния некоторых соединений железа на спектральную отражательную способность в видимой области спектра был предложен прием оценки содержания железа в почвах. Образцы прокаливают при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, полностью освобождая их от органических примесей и переводя соединения железа в форму простых окислов, и затем спектрофотометрируют.

Вычисления выполняются по формуле

$$\Delta\rho = A + KC, \quad (18)$$

где $\Delta\rho = \rho_{650-540}$;

A и K – константы, различные для разных типов почв;

C – содержание железа в (%).

Экспериментальная проверка показала, что метод применим не для всех почв. Однако для генетически близких почв, где долевое участие железа

в формировании спектральной отражательной способности примерно одинаково, взаимосвязь достаточно высокая [8].

Влажность

Для изучения влажности почв, в отличие от их гумусности, применим весь арсенал дистанционных методов с использованием разных диапазонов электромагнитного спектра. В видимом и ближнем инфракрасном диапазонах с увеличением влажности почв до определенного предела наблюдается снижение спектральной яркости, но при достижении определенного порога зависимость меняется на обратную. Количественное описание этой нелинейной связи очень сложно, так как она зависит от многих факторов, например, фазового состояния влаги, гранулометрического состава почвы, состава почвообразующих пород. Для каждого генетического типа почв можно получить свои уравнения для оценки влажности при определенных названных условиях.

Картографирование влажности почв по аэрокосмическим снимкам показывает, что, используя такие уравнения, можно определять влажность почв с градациями от 2 % до 4 % (с относительной погрешностью около 12 %). При этом наиболее информативна для определения вариаций влажности почв средняя инфракрасная область (от 2,08 до 2,35 мкм).

При изучении влажности по фотографическим и сканерным снимкам в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне получают лишь обобщенное качественное представление о ее распределении, поскольку на изображение сильно влияют высота съемки, атмосферные условия и т.п. Непосредственно отображается влажность лишь поверхностного слоя почвы, а о нижележащих горизонтах приходится судить по косвенным признакам — растительности, рельефу.

В связи с этим более перспективно применение тепловой инфракрасной съемки. Сигнал, регистрируемый в тепловой инфракрасной зоне спектра, зависит практически только от температуры поверхности,

которая в свою очередь определяется соотношением процессов испарения влаги и ее транспирации растениями (то есть эвапотранспирации). Основываясь на известных соотношениях между эвапотранспирацией и температурой поверхности, занятой посевами сельскохозяйственных культур, удастся разделить почвы по влажности путем создания по спутниковым данным карт эвапотранспирации.

Возможность определения влажности почв по температуре поверхности зависит от состава почв. Для почв с тяжелым гранулометрическим составом и высоким содержанием органического вещества в гумидных условиях эти возможности наибольшие.

Тепловая съемка характеризует очень тонкий слой почвы, но позволяет оценить влажность и в более глубоком слое при условии получения информации о суточном перепаде температур с использованием показателя тепловой инерции [22].

Для определения влажности почв можно использовать и съемку в радиодиапазоне, причем оба ее вида – и пассивную микроволновую, и активную радиолокационную. Коэффициенты излучения поверхности в радиодиапазоне определяются в значительной мере именно влажностью поверхности. С уменьшением влажности почвы увеличивается коэффициент микроволнового излучения; он зависит и от других свойств – содержания солей, гранулометрического состава, шероховатости поверхности, но в наибольшей степени определяется влажностью.

Микроволновое излучение может поступать не только от поверхности почвы, но и от слоев на некоторой глубине (в однородных грунтах – до 10 – 40 см). Датчик при этом воспринимает единый сигнал, характеризующий весь слой.

Регистрация микроволнового излучения для определения влажности почв используется в самолетном варианте. Применение этого метода с космических носителей ограничено пока слишком грубым разрешением микроволновых радиометрических снимков (например, давший наибольший

объем материала микроволновый радиометр SMMR спутника Nimbus-7 имел разрешение 12 км). Как указывалось, ожидается получение микроволновых снимков со спутника METOP с разрешением 7 км. Разрабатывается специальный спутник для определения влажности почв и солености океанов SMOS.

Использование для определения почвенной влаги данных другого вида съемки в радиодиапазоне — радиолокационной — связано с тем, что интенсивность отраженного от поверхности радиосигнала зависит от диэлектрической постоянной изучаемой поверхности (значение этого коэффициента для водной поверхности около 80, а для сухой почвы порядка 5). Величина отраженного радиосигнала, как правило, характеризует влажность самого верхнего слоя почвы мощностью от 1 до 10 см. Получение информации о содержании влаги на большей глубине возможно лишь в относительно сухой почве при применении радиолокаторов, использующих более длинноволновое излучение, например в L-диапазоне (именно так было получено изображение погребенного русла Нила в восточной Сахаре на радиолокационных снимках с возвращаемого корабля Shuttle).

Сравнение разных методов дистанционного определения влажности почв показывает, что наиболее эффективно пока используется регистрация излучения в тепловом инфракрасном диапазоне. Этим методом в ряде случаев получены точные количественные оценки влажности даже для почв, покрытых растительностью, в различных природных зонах. Большие перспективы имеет использование активной и пассивной съемки в радиодиапазоне [22].

Загрязнение нефтепродуктами

Характерное для настоящего времени усиление нефтедобычи приводит к тому, что площадь земель, подвергающихся нефтяному загрязнению, постоянно увеличивается. В Западной Сибири, на севере Европейской территории страны, в Калмыкии, на Дальнем Востоке, в странах содружества

нефтезагрязненные земли занимают значительные территории. Разрабатываются методы их распознавания и определения уровня загрязнения. Факультетом почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова предложен вариант дистанционного контроля за уровнем нефтяного загрязнения почв на основе измерения их отражательной способности.

Экспериментальное полевое спектрометрирование показало, что при загрязнении нефтью отражательная способность почв снижается. При сильном загрязнении кривые спектрального отражения становятся почти горизонтальными, характерного для незагрязненных почв подъема с увеличением длин волн не наблюдается, в отдельных случаях зафиксировано даже падение коэффициентов отражения в направлении к красной зоне.

Интегральное отражение сильно загрязненных почв составляет от 10 % до 12 %, в сине-фиолетовой зоне коэффициенты отражения снижаются до 9 % – 11 %, в красной – до 8 % – 13 %. На основе экспериментальных данных рассчитаны параметры уравнений зависимости величины отражения от содержания углеводородов нефти; зависимость имеет экспоненциальный характер. Дальнейшее накопление экспериментальных данных для почв разных генетических типов должно открыть возможность мониторинга нефтяного загрязнения почв по материалам многозональной космической съемки. Однако поскольку площади пятен загрязнения невелики, то требуется использование космических снимков очень высокого пространственного разрешения [22].

6.3.3 Использование показателей СКЯ для дистанционных исследований

Известно, что каждый почвенно-сельскохозяйственный объект имеет свой спектральный образ, запечатленный на аэро- и космических материалах.

Большой по разнообразию набор кривых яркости природных образований делится на два основных типа – кривые яркости почв без растительности и кривые почв, покрытых растительностью. Характер спектральных кривых яркости и величины спектральных коэффициентов яркости хорошо отражает свойства почв и растительности. Так, по форме кривых и величинам спектральной яркости хорошо диагностируются засоленные поверхности, различая в гумусированности почв, влажности, карбонатности, степени покрытия почвы растительностью. В соответствии с этим вполне реальна возможность дистанционной количественной оценки нарушенности почвенного и растительного покрова в естественных и агроландшафтах.

Записав спектральную кривую объекта, мы можем иметь большой набор показателей спектральной отражательной способности, поэтому встает вопрос о выборе наиболее информативных показателей, для решения той или иной задачи.

Опыт исследований показывает, что можно использовать значения коэффициентов отражения в отдельных полосах спектра или их различные комбинации. Для растительности комбинации спектральных коэффициентов яркости называют вегетационными индексами (ВИ) [8].

Сделана попытка оценить информативность спектральных характеристик посевов озимой пшеницы для прогноза их биологической продуктивности, как интегрального признака, отражающего состояние агроценоза. Биологическую продуктивность оценивали двумя показателями: массой сухой подземной растительности и хозяйственным урожаем.

Спектральными характеристиками посева выбраны коэффициенты спектральной яркости при длинах волн 480, 560, 670, 860 нм (r_{480} , r_{560} , r_{670} , r_{860} соответственно).

В качестве вегетационных индексов (ВИ) предложены отношения

$$\begin{aligned} BI^1 = \frac{r_{560}}{r_{480}}, BI^2 = \frac{r_{670}}{r_{560}}, BI^3 = \frac{r_{670}}{r_{560}}, BI^4 = \frac{r_{860}}{r_{480}}, BI^5 = \frac{r_{860}}{r_{560}}, \\ BI^6 = \frac{r_{560}}{r_{670}}, \end{aligned} \quad (19)$$

и сочетания:

– нормализованная разность

$$HP = (r_{860} - r_{670}) / (r_{860} + r_{670}), \quad (20)$$

– трансформированная разность

$$THP = (HP + 0,5)^{1/2}, \quad (21)$$

– четырехмерный индекс зелени (G_4)

$$G_4 = -0,276 \cdot r_{480} - 0,387 \cdot r_{560} - 0,527 \cdot r_{670} + 0,705 \cdot r_{860}, \quad (22)$$

– двухмерный индекс зелени (G_2)

$$G_2 = -0,813 \cdot r_{670} + 0,583 \cdot r_{860}, \quad (23)$$

– четырехмерный индекс яркости (B_4)

$$B_4 = 0,277 \cdot r_{480} + 0,402 \cdot r_{560} + 0,509 \cdot r_{670} + 0,709 \cdot r_{860}. \quad (24)$$

Коэффициенты уравнения G и B при значениях КСЯ в соответствующих зонах спектра определены по отражениям полей, занятых черным паром и исследуемых посевов пшеницы в фазе колошения (максимум зеленой растительности).

Для расчетов связи спектральных характеристик и биологической продуктивности применялся метод многомерного статистического анализа. Поиск показал, что самая высокая корреляция наблюдается в связях:

а) сухая фитомасса – $r_{860, \frac{r_{860}}{r_{670}}}$, G_4 .

б) урожай – $r_{670, \frac{r_{860}}{r_{560}}}$, HP .

В сезонной динамике для урожая самая высокая корреляция со спектральными характеристиками в фазе колошения, для фитомассы – при выходе пшеницы в трубку.

Таким образом, оптимальная модель предсказания урожая пшеницы требует учета спектральных коэффициентов яркости в трех зонах отражения (560, 670, 860 нм) или комбинации нескольких вегетационных индексов.

Исследованиями В.И. Бедырева с соавт. для естественных угодий предложен метод количественной оценки параметров растительного покрова. Метод основан на подборе двух спектральных диапазонов с разной степенью поглощения света: первый – в полосе поглощения хлорофилла, второй – вне ее (670 и 750 нм) [8].

Экспериментальная проверка показала, что применение фотометрического метода для оценки растительного покрова по КС связано с рядом трудностей. Основная связана с большим разнообразием растительных видов, их сообществ и необходимостью построения большого количества переводных кривых фотометра. Поэтому ставится задача объединять по возможности основные виды сообществ в группы с целью построения для них единых переводных кривых.

Кроме того, требуется уточнение переводных кривых для каждой группы в течение вегетационного периода. Для кустарниковых и полукустарниковых видов переводная кривая строится для всего вегетационного периода, так как яркость их зеленой массы в сухостепной зоне изменяется незначительно. Для злаковых требуется построение нескольких переводных за сезон, поскольку изменение их яркостных характеристик в течение периода вегетации значительно [8].

Количественная связь выражается формулой

$$K_{\Pi P} = K_p + (K_{\Pi} - K_p)B^{-M}, \quad (25)$$

где K_{np} – отношение коэффициентов яркости системы почва – растительность;

K_p – отношение коэффициентов яркости предельного плотного растительного покрова;

K_n – отношение коэффициента яркости почвы под растениями;

M – параметр, характеризующий состояние растительного покрова (масса, густота стояния, плотность листовой поверхности и т.д.);

B – постоянная величина.

Контрольные вопросы

1 Что такое фито- и генотоксичность? Назовите показатели изменения микробиологических свойств почв?

2 Какие ферменты являются надежными индикаторами мониторинга микробиологического состояния?

3 Что такое бонитировка почв?

4 Назовите основные генетические показатели, необходимые для разработки шкалы бонитета.

5 Что такое балл бонитета? Какие почвы были приняты за эталон (100 баллов)?

6 Охарактеризуйте метод лазерного дистанционного зондирования.

7 Что такое спектральный коэффициент отражения, спектральный коэффициент яркости?

8 Приведите примеры использования показателей спектральной отражательной способности для количественных оценок.

7 Дешифрирование аэрокосмоснимков

7.1 Почва как объект дешифрирования

Почва как целостный природный объект, имеющий определенное строение генетического профиля и различные почвенные горизонты, ни на аэроснимках, ни на космических снимках непосредственно не изображается. Даже в случае распашки и отсутствия посевов на снимках отображаются лишь отдельные свойства поверхностного горизонта — гумусированность, влажность, карбонатность, засоленность, механический состав. Однако этот горизонт генетически связан со всем профилем почвы. На основании положения Б.Б. Полынова, что все почвенные горизонты являются парагенетическими, то есть взаимосвязанными в своем происхождении, Ю.А. Ливеровский (1962) пришел к выводу, что свойства верхнего горизонта могут служить признаками для определения генетической принадлежности всей почвы. Поэтому, анализируя изображение поверхностного горизонта, можно при определенных условиях выявлять смену почв и их границы, а в ряде случаев (при наличии дополнительных материалов) и определять генетический тип (подтип, разновидность) почв.

Но в подавляющем большинстве случаев открытая поверхность почв на аэрокосмических снимках не видна и их дешифрирование основывается на том, что почва является результатом совокупной деятельности материнских пород, климата, растительности и животных организмов, рельефа и времени их взаимодействия, то есть возраста. В классическом определении В.В. Докучаева (1949): «Почвы... есть зеркало, яркое и вполне правдивое отражение, так сказать, непосредственный результат совокупного весьма тесного векового взаимодействия между водой, воздухом и землей (материнские горные породы, иначе подпочвы), с одной стороны, растительными и животными организмами и возрастом страны, с другой — этими ответными и ныне действующими почвообразователями» — дан ключ к индикационному дешифрированию почв по косвенным признакам, имеющим для исследования по снимкам почвенного покрова первостепенное значение. Важно установление взаимосвязи почвы с компонентами ландшафта, получающими наилучшее отображение на космических снимках, в первую очередь с растительностью и рельефом [22].

7.2 Особенности дешифрирования аэрофотоснимков

Дистанционные изображения земной поверхности предстают перед глазами исследователя в непривычных масштабе, проекции и цвете. Чтобы использовать снимки для изучения и картографирования состояния окружающей среды, необходимо научиться их дешифрировать. Полноценные исследования должны основываться на использовании материалов аэрофотосъемки и космических снимков высокого разрешения.

Дешифрирование — процесс распознавания объектов по их изображениям, определения качественных и количественных характеристик этих объектов, изучения ландшафтообразующей и экологической роли

различных факторов. Оно позволяет определить контуры и площади проявления всех процессов, если они в той или иной мере выражены в рельефе; получить основные характеристики поверхности; установить условия и факторы, вызывающие возникновение различных процессов и контролирующих их развитие; оценить ущерб, наносимый тем или иным процессом природной среде и инженерным сооружениям [5, 21].

Технологическая схема дешифрирования включает сбор аналитических данных о компонентах природы, видах хозяйственной деятельности и их типизацию; выявление и типизацию природно-территориальных комплексов и природно-хозяйственных систем (рисунок 28) [21].



Рисунок 28 – Технологическая схема дешифрирования дистанционных изображений

Для получения аэроснимков с наилучшими для данного вида дешифрирования информационными возможностями определяющее значение имеют учет при аэрофотографировании природных условий (облика ландшафтов, освещенности местности), размерности и отражательной способности объектов, выбор масштаба, технических средств

(тип аэропленки и аэрофотоаппарата) и режимов аэросъемки (летносьемочные и фотолабораторные работы).

Эффективность дешифрирования, т.е. раскрытия содержащейся в аэроснимках информации, определяется особенностями изучаемых объектов и характером их передачи при аэросъемке (дешифровочными признаками), совершенством методики работы, оснащенностью приборами и свойствами исполнителей дешифрирования [23, 24].

Применяется предметное и логическое дешифрирование. Первое выполняется путем сравнения изображений и объектов в натуре. Последние опознаются по прямым дешифровочным признакам: по форме, размеру, тону, рисунку, структуре изображения. Второе основано на использовании закономерных взаимосвязей компонентов ландшафта. Через характеристику объектов, непосредственно изображенных на снимках, логическим путем делают заключение о наличии и свойствах объектов и явлений, которые скрыты, но связаны с первыми закономерными связями. Наблюдаемые объекты, по которым дешифрируются другие компоненты ландшафта, называются индикаторами, а сам метод – ландшафтным методом дешифрирования. Например, растительность и микрорельеф являются индикаторами при дешифрировании задернованных почв [21, 23, 24].

Опыт показал, что наиболее продуктивно дешифрирование в том случае, если к интерпретации изображений подходят не аналитически, исходя из индикаторных способностей отдельных компонентов природы, а системно, основываясь на индикаторных свойствах ландшафтно-экологических комплексов в целом. Существует закономерная связь тектонического строения, типов и форм рельефа, литологии поверхностных отложений, растительности и животного мира, видов хозяйственной деятельности с ландшафтами и морфологическими ПТК.

Дешифрирование осуществляется по общепринятой схеме: предварительное дешифрирование – полевые исследования – камеральное дешифрирование – контроль [21].

В методическом отношении для дешифрирования характерно сочетание полевых и камеральных работ, объем и последовательность которых зависят от их назначения и изученности местности. Полевое дешифрирование заключается в сплошном или выборочном обследовании территории с установлением необходимых сведений при непосредственном изучении дешифрируемых объектов. На труднодоступных территориях полевое дешифрирование осуществляют с применением аэровизуальных наблюдений. На первом этапе на снимках выделяются основные типы рисунков и создается контурная основа. В полевых исследованиях используется метод изучения ключевых участков и проведения ландшафтных профилей [21, 23].

Благодаря ключам сокращается объем работ: исследователю нет надобности задерживаться на описании каждого контура, если по ряду признаков его можно отнести к уже известному типу. Описание ведется по полной программе геоэкологических исследований. Выявляются индикаторы. В дальнейшем такие признаки, как элементы геологического строения, формы рельефа, растительность, позволяют узнавать однотипные природные комплексы и экстраполировать на них характеристики, полученные на ключах.

Главным методом полевого дешифрирования является комплексное ландшафтно-экологическое профилирование. На данном этапе природу местности связывают с характером изображения. Условными знаками на профиле показываются: четвертичные отложения, почвы и растительность. Вертикальными линиями обозначаются границы ПТК. В зависимости от масштаба съемки рекомендуется проводить профили следующих типов:

- 1 Ландшафтные профили эколого-топологической размерности прокладывают во время крупномасштабных исследований. Длина профилей колеблется от единиц до сотен метров. С помощью крупномасштабных аэрофотоснимков выбирают место и направление профиля. В полевых

исследованиях выполняется полная программа биогеоценотических описаний.

2 Ландшафтные профили региональной размерности пересекают изображение ландшафта в наиболее характерном направлении. Длина профиля может достигать нескольких километров. На ключевых точках описания проводятся по полной программе, на промежуточных – по сокращенной.

Перед эталонированием стоит задача отобразить наиболее существенные черты ландшафтно-экологической структуры исследуемой территории. Значение эталонов состоит в том, что с их помощью осуществляется камеральное дешифрирование дистанционных изображений новых, не посещенных территорий методом экстраполяции. Достоверность экстраполяции определяется контрольными проверками.

Элементарные эталоны – вырезки из снимков, характеризующие изображение четко выделяющихся объектов и явлений. Они систематизируются в виде таблиц и могут располагаться в порядке, отражающем классификационные подразделения структурных единиц ландшафта. Элементарные эталоны оформляются в виде легенды и прикладываются к материалам съемки.

Эталонный профиль представляет собой полосу изображения, на которой отобразилось характерное сочетание сопряженных природных комплексов. Ему сопутствует детальный ландшафтный профиль [21].

Камеральное дешифрирование заключается в определении объектов по их дешифровочным признакам на основе анализа аэроснимков с использованием различных приборов, справочно-картографических материалов, эталонов (полученных путем полевого дешифрирования «ключевых» участков) и установленных по данному району географических взаимозависимостей объектов («ландшафтный метод»). Хотя камеральное дешифрирование значительно экономичнее полевого, но его полностью не заменяет, т.к. некоторые данные могут быть получены только в натуре.

Ведутся разработки по автоматизации дешифрирования в направлениях:

а) отбора аэроснимков, обладающих нужной информацией, и преобразования их с целью улучшения изображения изучаемых объектов, для чего используются методы оптической, фотографической и электронной фильтрации, голографии, лазерного сканирования и др.;

б) распознавания объектов сопоставлением при помощи ЭВМ закодированных формы, размеров данного изображения и плотности фототона данного изображения и эталонного, что может быть эффективным только при стандартизованных условиях аэросъемки и обработки снимков.

В связи с этим ближайшие перспективы автоматизации дешифрирования связывают с применением, так называемой, многоканальной аэросъемки, позволяющей получать синхронные изображения местности в различных зонах спектра. Для дешифрирования используются приборы: увеличительные – лупы и оптические проекторы, измерительные – параллактические линейки и микрофотометры и стереоскопические – полевые переносные и карманные стереоскопы и стереоскопические очки и камеральные настольные стереоскопы, частью с биноккулярными и измерительными (например, стереометр СТД) устройствами. Стационарным прибором, разработанным специально для целей дешифрирования, является интерпретоскоп. Дешифрирование аэроснимков проводят и на универсальных стереофотограмметрических приборах в комплексе работ по составлению оригинала карты. В зависимости от задачи дешифрирование может выполняться по негативам аэроснимков или их отпечаткам (на фотобумаге, стекле или позитивной пленке), на смонтированных по маршруту или площадям фотосхемах и на точных фотопланах. Дешифрирование осуществляют в проходящем или отраженном свете с вычерчиванием (или гравированием) его результатов в одном или нескольких цветах на самих материалах аэросъемки или наложенных на них листах прозрачного пластика.

К исполнителям дешифрирования предъявляются особые профессиональные требования в отношении восприятия яркостных и цветовых контрастов и стереоскопичности зрения, а также способностей к эффективному опознаванию и определению объектов по их специфическому изображению на аэроснимках. Наряду с этим исполнители дешифрирования должны знать особенности природы и хозяйства данной территории и иметь сведения об условиях ее аэросъемки.

Различают общегеографическое и отраслевое дешифрирование. К первому относят топографическое и ландшафтное дешифрирование, ко второму – все остальные его виды.

Топографическое дешифрирование, характеризующееся наибольшим применением и универсальностью, имеет своими объектами гидрографическую сеть, растительность, грунты, угодья, формы рельефа, ледниковые образования, населенные пункты, строения и сооружения, дороги, местные предметы, геодезические пункты, границы.

Ландшафтное дешифрирование завершается региональным или типологическим районированием местности. Основные из отраслевых видов дешифрирования применяются при выполнении следующих работ: геологическое – при площадном геологическом картировании и поисках полезных ископаемых, гидрогеологических и инженерно-геологических работах; болотное – при разведке торфяных месторождений; лесное – при инвентаризации и устройстве лесов, лесохозяйственных и лесокультурных изысканиях; сельскохозяйственное – при создании землеустроительных планов, учете земель и состояния посевов; почвенное – при картировании и изучении эрозии почв; геоботаническое – при изучении распределения растительных сообществ (преимущественно в степях и пустынях), а также для индикационных целей; гидрографическое – при исследовании вод суши и площадей водосбора и исследовании морей в отношении характера течений, морских льдов и дна мелководий; геокриологическое – при изучении

мерзлотных форм и явлений, а гляциологическое – ледниковых и сопутствующих им образований.

Дешифрирование применяется также в метеорологических целях (наблюдения за облаками, снеговым покровом и др.), при поиске промысловых животных (особенно тюленей и рыб), в археологии, при социально-экономических исследованиях (например, контроле движения транспорта) и в военном деле при обработке материалов аэрофоторазведки. При решении многих задач дешифрирование носит комплексный характер (например, для целей мелиорации).

В ряде отраслей науки и практики наряду с дешифрированием аэрофотоснимков ведутся работы по дешифрированию космических фотоснимков, выполняемых с пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций, а также с искусственных спутников Земли. В последнем случае получение фотоснимков полностью автоматизировано; доставка их на Землю осуществляется с помощью контейнеров или передач изображения телевизионным путем. Благодаря снимкам из космоса обеспечивается возможность непосредственного дешифрирования объектов глобального и регионального характера и дешифрирования динамики природных процессов и проявлений хозяйственной деятельности сразу на значительных пространствах за короткий промежуток времени [23].

Образцы дешифрирования аэроснимков представлены на рисунках 29, 30.

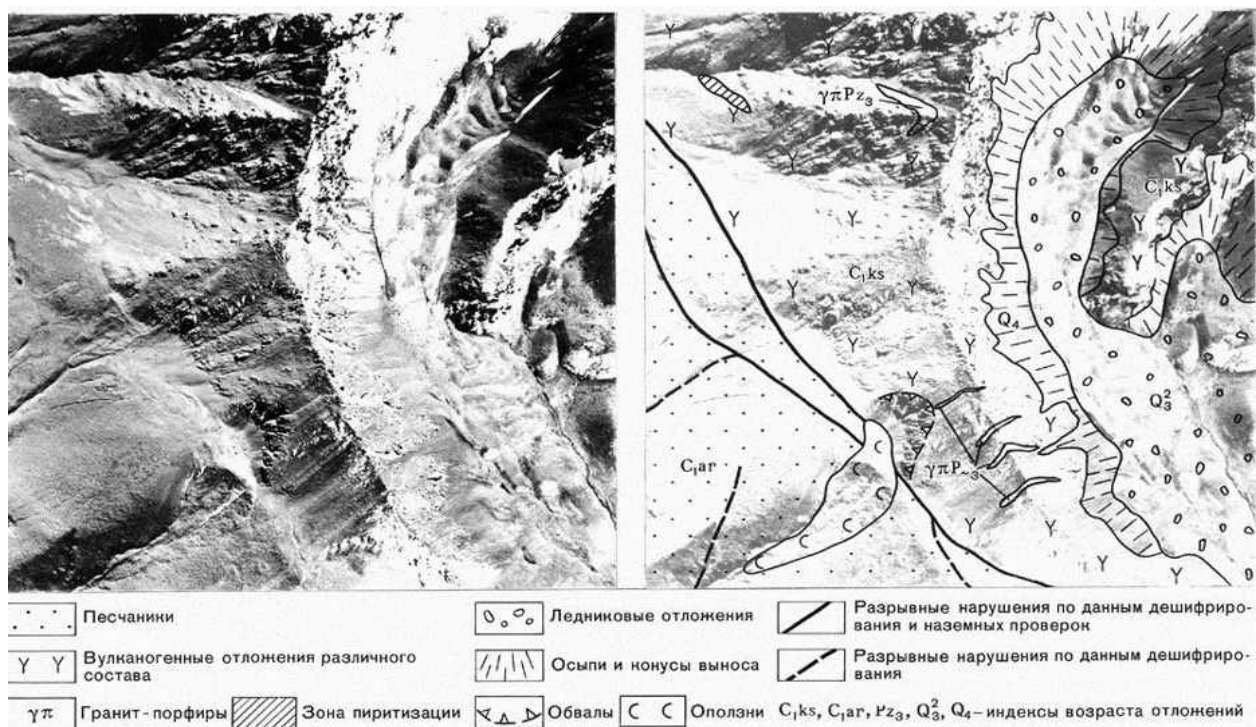


Рисунок 29 – Образец геологического дешифрирования аэрофотоснимков

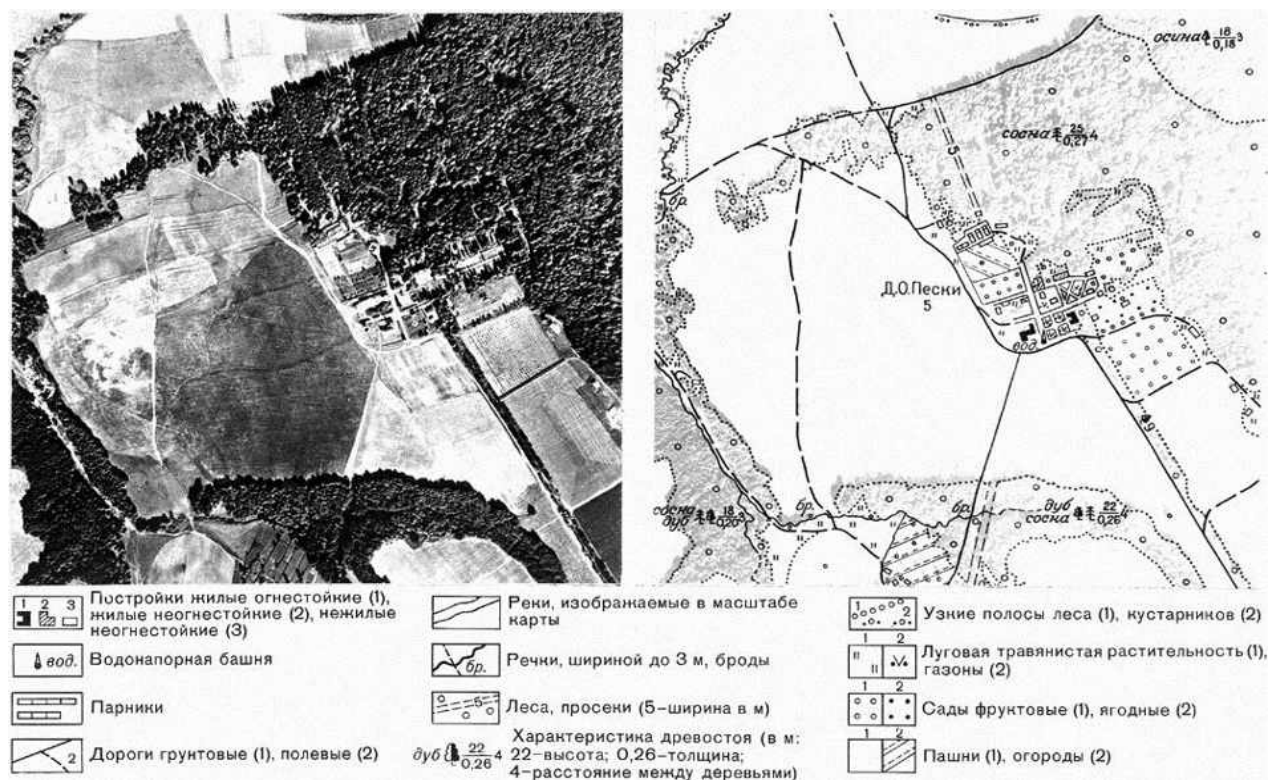


Рисунок 30 – Образец топографического дешифрирования аэрофотоснимков

7.3 Особенности дешифрирования космических снимков

Указанная особенность дешифрирования почв, опирающегося в основном на косвенные признаки, усиливается характерным для изучения любых географических объектов по космическим снимкам возрастанием роли косвенного дешифрирования.

Особенности работы со снимками из космоса связаны с отличительными свойствами самих космических снимков – их большой обзорностью и генерализованностью изображения, одновременным отображением на снимках всех компонентов ландшафта.

Эти свойства усилили познавательные функции космических снимков, но одновременно сделали работу с ними более сложной, требующей более глубокого понимания существа дешифрируемых объектов, их взаимосвязей.

Специфика использования снимков в почвоведении, состоящая в большой роли географического анализа при работе со снимками, в необходимости учета для распознавания генетической принадлежности почв взаимосвязей и взаимообусловленности всех почвообразующих компонентов природной среды и хозяйственной деятельности, еще сильнее возрастает при работе с космическими снимками.

Возрастание роли косвенного индикационного дешифрирования, основывающегося на знании взаимосвязей различных компонентов природной среды, требует высокой квалификации и основательной предметной географической подготовки дешифровщика. Формула «вижу – рисую», часто вполне применимая при топографическом дешифрировании аэрофотоснимков, заменяется при почвенном дешифрировании космических снимков формулой «понимаю – рисую».

Сказанное определяет большую роль вспомогательных данных и знаний, которыми должен обладать специалист, выполняющий почвенное дешифрирование космических снимков. Это и специальные знания о

свойствах почв, особенностях их генезиса и распространения, характере распределения, географии почв. Очень важны знания из наук, смежных с предметом интереса, – геологии, геоморфологии, биогеографии, ландшафтоведения.

Дешифрирование почв требует географического анализа, широкого географического мышления, а следовательно, комплексной географической подготовки. И конечно, необходимы знания местных условий исследуемой территории, что подразумевает обязательное ознакомление с районом работ по литературным, картографическим и другим источникам [22].

Для грамотного дешифрирования необходимо знать и особенности используемых съемочных материалов. Поэтому надо хорошо ориентироваться в современном фонде космических снимков, представлять специфику и возможности снимков разных типов.

Для использования многозональных снимков, вошедших в обиход именно при космических исследованиях, необходимо знание спектральных отражательных свойств объектов съемки, владение приемами последовательного или сопоставительного дешифрирования серий зональных снимков с учетом «спектрального образа» объектов съемки. Применение в космических исследованиях почв съемки в разных диапазонах – не только в видимом и ближнем инфракрасном, но и в тепловом инфракрасном и радиодиапазоне, применение гиперспектральной съемки обуславливает необходимость представлять излучательные и отражательные свойства почв в этих диапазонах. Большого умения требует динамическое дешифрирование при работе с сериями разновременных снимков или использовании динамических индикаторов на одномоментных снимках. Еще более сложно одновременное использование спектрального и временного образов объектов съемки при применении разновременных серий многозональных снимков, когда признаком объекта являются временные изменения спектральной яркости. Применение компьютерных методов обработки снимков для классификации объектов по спектральным и

временным признакам, реализуемых современными программными средствами, эффективно только при понимании существа происходящих изменений.

В работе с космическими снимками, более обзорными и генерализованными, чем аэроснимки, естественно, усиливается роль камерального дешифрирования, а для полевого утверждаются его контролирующие функции. Общая технологическая цепь выглядит так: предварительное камеральное дешифрирование – полевой контроль – окончательное камеральное дешифрирование. Полевой контроль, осуществляемый при многих видах тематического дешифрирования космических снимков путем аэровизуальных наблюдений, в почвенных исследованиях не может быть заменен ими, требуются натурные наблюдения на земле. В связи с переносом центра тяжести на камеральное дешифрирование большую значимость приобретает привлечение разнообразных дополнительных материалов: картографических, литературных и других, а также научно-методических пособий и методических руководств, атласов аннотированных космических снимков со схемами их дешифрирования, эталонов изображения и дешифрирования различных почв [22].

7.4 «Генетическое» и «контурное» дешифрирование почв

Любое географическое дешифрирование снимков – топографическое или тематическое – включает в себя операции распознавания объектов и фиксации на снимках их положения или границ распространения. Исходя из того, что двуединой задачей почвенного дешифрирования является установление содержания и проведение границ почвенных контуров по снимкам, Ю.А. Ливеровский предложил первую из этих двух

взаимосвязанных операций, имеющую целью определение генетической принадлежности почв, назвать генетическим дешифрированием, а решение второй задачи, связанной с выделением контуров различных почв или территорий с однотипным строением почвенного покрова, определением их границ, – контурным дешифрированием. Вслед за ним и другие специалисты по дешифрированию почв расчленяют эти операции, выделяя два вида дешифрирования – «генетическое» и «контурное».

При многих видах тематического анализа аэрокосмического изображения выделение контуров представляет завершающую стадию, когда дешифровщику уже удалось распознать объект. В почвенном дешифрировании далеко не всегда так. Часто выделить по снимку однородные контуры проще, чем понять их сущность, определить генетический тип почв, для чего требуется дополнительная информация, и тогда выделение контуров может быть первой стадией работы. К тому же сама форма и размер контуров, их приуроченность к определенным элементам ландшафта может служить признаком генетической принадлежности почв.

Выделение территориальных единств – участков однородного тона или структуры изображения, участков с близкими спектральными характеристиками объектов – является опережающим шагом и при многих методах компьютерной классификации изображений (сегментация, кластеризация) [22].

7.5 Дешифрирование открытых почв по прямым признакам

Прямые дешифровочные признаки почв

Различные почвы могут распознаваться по космическим снимкам по прямым дешифровочным признакам далеко не всегда, а лишь на распаханых землях или полях со всходами зерновых и пропашных культур высотой не более 10 – 20 см и на слабо покрытых растительностью территориях (при проективном покрытии до 10 % – 15 %). Однако на снимках находит отображение лишь верхний горизонт почвы, а на его изображение в момент съемки сильное влияние оказывает состояние почвы, прежде всего ее влажность. Это осложняет определение типов, подтипов и разновидностей почв по прямым признакам даже в тех случаях, когда на снимках изображаются распаханые земли.

Поверхностные горизонты различных почв могут отличаться по окраске, структуре, характеру поверхности, механическому составу, влажности. Структура и характер поверхности, которые могут находить отображение на крупномасштабных аэроснимках, на космических снимках ввиду большой их генерализованности не проявляются.

Специфическая окраска большинства типов почв нашла отражение и в их названиях – серые лесные, черноземы, каштановые, буроземы. Поэтому окраска поверхностного горизонта почв, отображающаяся на аэрофотоснимках, может служить основным прямым дешифровочным признаком типа почв. Однако из космоса редко получают снимки с естественной цветопередачей, и реальный цвет почв в этом случае теряет диагностическое значение, а основное значение приобретает яркость, тон их изображения. Тон изображения разных почв на панхроматических снимках может меняться от белого тона изображения сухих солончаков и песков и почти белого тона пустынных почв – серо-бурых, сероземов, до почти черного тона изображения черноземов [22].

На черно-белых снимках тон изображения почв определяется их отражательной способностью, которая зависит от их минералогического и органического состава. Как указывалось, гумусовые вещества и окислы железа снижают общую яркость почв, а кремнезем, карбонаты и хлориды увеличивают ее. Именно поэтому черноземы, отличающиеся большим содержанием гумуса, изображаются на снимках темными тонами, а солончаки из-за выцветов легко растворимых солей (хлоридов, сульфатов) – очень светлыми. Поскольку в большинстве случаев яркость изображения почв на снимках зависит от содержания гумуса в поверхностном слое, то по этому признаку различаются почвы с разным содержанием гумуса (в пределах от 0,5 % до 6 %), кривые спектральной яркости которых образуют своеобразный «веер». Наиболее четко по тону изображения разделяются почвы южной части лесной, лесостепной и северной части степной зон, которые к тому же чаще отображаются на снимках в распаханном виде, а также почвы сухостепной и полупустынной зон. Для черноземов типичных и обыкновенных характерен темно-серый, почти черный тон, каштановые почвы и темно-серые, серые, светло-серые лесные изображаются серым и светло-серым тоном, солончаки — ярким светлым. Детальная характеристика тона изображения почв степной зоны дана в таблице 20.

На спектральную яркость почв влияют содержание в почвах окислов железа, гумуса и гуматный состав последнего. Это важно учитывать при использовании наиболее распространенных в космических исследованиях многозональных снимков, для работы с которыми необходимо знать спектральную отражательную способность почв.

Таблица 20 – Тон изображения основных почв степной зоны на черно-белых паихроматических снимках (по Андроникову, 1979)

Тон изображения	Почвы
Белый	Солончаки с солевой коркой на поверхности
Почти белый	Солончаки корковые и мелкие при вспашке солонцового горизонта; солоди при вспашке осолоделого горизонта; карбонатные перерытые черноземы и перерытые каштановые почвы (сурчины); сильно эродированные черноземы и каштановые почвы на карбонатных породах; черноземы и каштановые почвы песчаные сильно дефлированные; аллювиальные слабо развитые песчаные почвы
Светло-серый	Солонцы средние и глубокие при вспашке солонцового горизонта; черноземы и каштановые эродированные почвы; черноземы и каштановые песчаные и супесчаные почвы; черноземы и каштановые маломощные щебнистые почвы; аллювиальные луговые песчаные почвы
Серый	Каштановые и светло-каштановые суглинистые почвы; черноземы карбонатные высококовскипающие и остаточно-карбонатные; черноземы и темно-каштановые слабоэродированные почвы; лугово-черноземные и лугово-каштановые осолоделые при вспашке осолоделого горизонта; луговые и аллювиально-луговые почвы под луговой растительностью
Темно-серый	Черноземы оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные; темно-каштановые; лугово-болотные; аллювиальные влажно-луговые и лугово-болотные при покрытии их влажной луговой растительностью
Почти черный	Лугово-черноземные и лугово-каштановые почвы ложбин и западин при их распашке
Черный	Черноземно-луговые, луговые почвы западин и аллювиально-луговые темноцветные почвы тяжелого механического состава при их распашке

На тон изображения почв на снимках влияет и их влажность: тон изображения влажных объектов в два-три раза темнее тона изображения

сухих объектов. В отдельных случаях это помогает определить типы почв. Например, в пределах лесной дерново-подзолистой зоны дерново-подзолистые почвы отличаются по тону от дерново-подзолисто-глеевых. Первые изображаются светлыми, светло-серыми тонами, вторые – серыми; более темная окраска дерново-подзолисто-глеевых почв обусловлена большей их влажностью. Однако такое диагностическое использование изменения тона изображения из-за увеличения влажности почв удастся довольно редко, и в большинстве случаев влажность как показатель состояния почв в момент съемки представляет осложняющий фактор.

Влажность почв и сама по себе может быть объектом исследования по космическим снимкам; но в этом случае исследователя обычно интересует получение количественных характеристик влажности и используются уже не материалы съемки в видимом диапазоне, а тепловая, микроволновая радиометрическая или радиолокационная съемка.

Благодаря большой обзорности космических снимков, размер и форма почвенных контуров, их соотношение, общий рисунок изображения становятся более значимыми признаками, чем на аэрофотоснимках. Наибольшие размеры почвенных контуров, преобладающее распространение характерны для зональных почвенных типов, а меньшие размеры – для разновидностей почв, связанных с особыми условиями увлажнения, изменением литологического субстрата. Размер почвенных контуров может быть признаком дешифрирования тех или иных почв и в случаях, когда данная почва приурочена к определенным формам рельефа. Например, в пределах северного Прикаспия на общем фоне зональных светло-каштановых почв выделяются осолоделые луговые почвы закрытых лиманов, имеющие крупные контуры, и лугово-каштановые почвы падин, приуроченные к небольшим понижениям [22].

Признаком определенных разновидностей почв может служить и форма почвенных контуров. Зональные почвы, как правило, не имеют характерной формы контуров, но внутризональные вариации почв, связанные

с особенностями рельефа, увлажнения, нередко характеризуются специфической формой. Так, в пределах зоны дерново-подзолистых почв характерны контуры болотных почв, имеющие округлую, овальную или продолговатую (вытянутую по логам) форму. В зоне обыкновенных черноземов нередко длинные извилистые контуры лугово-черноземных почв по днищам балок.

Форма почвенных контуров с учетом общих зональных условий может свидетельствовать и о направлении почвообразовательного процесса. Так, в гумидных условиях круглая форма почвенных контуров чаще всего свидетельствует о наличии или преобладании болотного процесса, в аридных условиях – солончакового или лугово-солончакового.

Сочетание и закономерное повторение контуров разных размеров и формы образует рисунок изображения, характеризующийся определенной структурой или текстурой. Отображение текстуры, структуры и рисунка на космических снимках, с их большим охватом и генерализованностью изображения, особенно выразительно, что делает их ценным материалом для изучения структуры почвенного покрова.

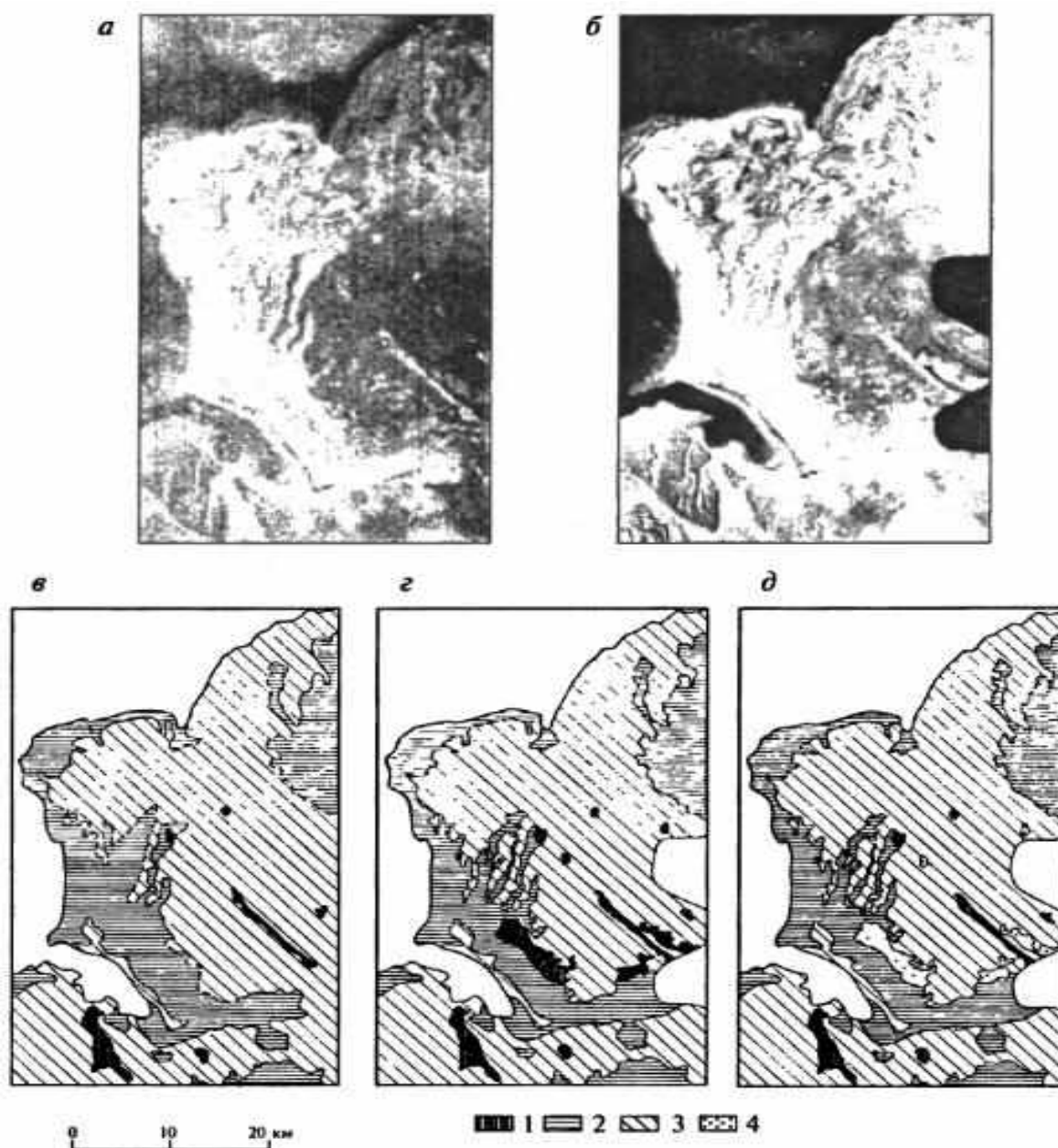
Прямые дешифровочные признаки на космических снимках иногда позволяют судить и о механическом составе почв. Различия механического состава лучше выражены у почв малогумусных и плохо – у сильно гумусированных. Среди подзолистых и дерново-подзолистых почв песчаные отличаются очень светлым тоном изображения, супесчаные несколько более темным, а суглинистые еще более темным. Дешифровочным признаком песчаных и супесчаных каштановых почв может быть ветровое перераспределение их поверхностного слоя, развитие эоловых форм, образующихся при распашке территории.

Но все же основным прямым дешифровочным признаком типа почв является тон изображения, а при работе с многозональными снимками – тон изображения на снимках в разных зонах и его изменения с переходом от

зоны к зоне. Для дешифрирования таких снимков необходимо знать спектральные характеристики почв разных типов [22].

Дешифрирование по спектральным признакам. Приемы работы с многозональными снимками

Поскольку, для всех почв характерно равномерное увеличение коэффициентов спектральной яркости с увеличением длин волн электромагнитного излучения и кривые спектральной яркости почв обычно не пересекаются, то для дешифрирования почв по прямым признакам имеют весьма ограниченное применение приемы дешифрирования многозональных снимков, используемые, например, при дешифрировании растительности (сопоставительное дешифрирование) или мелководных акваторий (последовательное дешифрирование). Типы почв с разной гумусированностью поверхностного слоя имеют разную яркость изображения, но характер изменения яркости по зонам идентичен, поэтому сопоставление зональных снимков нецелесообразно и важно лишь выбрать оптимальный снимок, где эти различия максимальны. Поскольку веер кривых спектральной отражательной способности почв расходится максимально в красной и ближней инфракрасной зонах, где не только значения, но и различия коэффициентов спектральной яркости наибольшие, то целесообразно использовать снимки в этих зонах для дешифрирования почв по прямым признакам. Однако в отдельных случаях применимы и приемы сопоставительного дешифрирования многозональных снимков, особенно для почвенных образований, различающихся по цвету (рисунок 31).



а – снимок с космического корабля Союз-12 в голубой зоне; б – снимок с космического корабля Союз-12 в красной зоне; в – выделение совокупностей объектов в голубой зоне; г – выделение совокупностей объектов в красной зоне; д – результаты сопоставительного дешифрирования; 1 – участки очень сильного засоления с солевой коркой на поверхности; 2 – участки сильного засоления; 3 – участки слабого засоления; 4 – пески.

Рисунок 31 – Дешифрирование песков и солончаков полуострова Бузачи

Сопоставительное дешифрирование оказалось эффективным для разделения песков и солончаков на полуострове Бузачи по многозональным фотоснимкам с космического корабля Союз-12. На снимке в красной зоне, где наблюдаются наибольшие контрасты изображения большинства объектов, светлые, лишенные растительности пятна песков и солончаков, четко выделяющиеся на сером фоне буроземов с пустынной растительностью, имеют одинаковую яркость изображения, максимальную по сравнению с изображением других земных объектов на этом снимке. Другую картину передает снимок в голубой зоне, казалось бы, мало выразительный, где контрасты изображения большинства объектов снівелированы; он кажется вообще мало пригодным для дешифрирования. Но на этом снимке достаточно четко выделяются светлые пятна солончаков, в то время как контуры песков сливаются с общим серым фоном изображения.

Сопоставление снимков позволяет надежно разделить эти объекты. Оно особенно удобно при компьютерном дешифрировании, когда возможно получение «разностных» изображений или выполняется классификация по спектральным признакам.

Базовую основу сопоставительного дешифрирования составляет сравнение кривых спектрального образа исследуемых объектов (графиков яркости изображения объектов дешифрирования на серии зональных снимков). Для рассмотренного случая песков и солончаков графики демонстрируют не обычное для почв веерообразное расхождение кривых без их пересечения, а, напротив, значительное расхождение в голубой зоне и смыкание кривых в красной зоне, что и обусловило эффективность сопоставительного дешифрирования. Такой ход кривых объясняется в данном случае тем, что пески имели не обычный желтовато-белый цвет, а яркий красновато-желтый цвет в натуре, поэтому кривая их спектрального образа имела минимум в голубой и максимум в красной зонах.

Таким образом, эффективного сопоставительного дешифрирования почв по прямым признакам на серии зональных снимков следует ожидать лишь в случаях значительных цветовых различий объектов дешифрирования. Однако в целом такие случаи, как и вообще изображение открытых, не замаскированных растительностью почв, достаточно редки и в основном дешифрирование осуществляется по косвенным признакам [22].

7.6 Дешифрирование почв по косвенным признакам. Роль рельефа, подстилающих пород, растительности, характера сельскохозяйственного освоения территории. Ландшафтное дешифрирование

Значительно более важными, чем прямые признаки дешифрирования почв, оказываются косвенные признаки на аэроснимках и в особенности космических снимках, поскольку на них отображаются факторы почвообразования — рельеф, растительность, подстилающие породы, производственная деятельность человека. Анализ факторов почвообразования по снимкам всегда полнее, чем по топографическим картам, а границы, выявляемые при этом анализе, в подавляющем большинстве случаев при минимальной проверке оказываются границами почвенных контуров. Дешифрирование факторов почвообразования по космическим снимкам ведет в конечном итоге к выделению ландшафтных физико-географических единиц.

Рельеф, который отнесен В.В. Докучаевым к одному из пяти ведущих факторов почвообразования, оказывает влияние как на формирование почвенного профиля, типа почв, так и на пространственное строение почвенного покрова, его структуру. Значение рельефа проявляется в первую очередь в перераспределении солнечной энергии и атмосферной влаги на

земной поверхности. Поэтому любое изменение рельефа влечет за собой изменение почв в пределах определенной почвенной зоны.

Рельеф находит достаточно полное отображение на материалах аэросъемки при стереоскопическом наблюдении снимков. Возможности космических фотоснимков в этом отношении до последнего времени были ограниченными из-за соотношения высоты и базиса съемки, позволявшего выполнять стереонаблюдения лишь в горных районах при невысокой точности стереоизмерений. В последние годы началось развитие новых методов цифровой конвергентной съемки высокого разрешения, предназначенной для выполнения высокоточных стереоизмерений. Такие космические снимки могут стать основой для стереоскопического дешифрирования. Пока же на наиболее распространенных космических снимках с разрешением десятки метров рельеф дешифрируется также по косвенным признакам — рисунку водотоков, распределению растительности, форме границ сельскохозяйственных угодий. Участки горного рельефа выдает светотеневая мозаика, а по четкости границ между освещенными и затененными склонами можно судить о степени расчленения, резкости или сглаженности форм.

Для разделения равнин наклонных, вогнутых, волнистых существенное значение имеет рисунок водотоков. Косвенным признаком наклонных равнин является наличие параллельных друг другу водотоков, прослеживающихся на больших расстояниях; направление течения водотоков определяет общий уклон равнины. Вогнутые равнины демаскируются центростремительным рисунком водотоков. Для волнистых равнин характерны системы водотоков древовидного рисунка, индицирующие склоны и понижения между повышенными водораздельными участками [22].

Гривисто-ложбинный, увалистый, грядовой рельеф подчеркивается неоднородностью фототона, закономерным чередованием протяженных составляющих элементов, отражающимся в светотеневой мозаике или в

распределении растительности. Эти типы рельефа на космических снимках с их высокой обзорностью дешифрируются лучше, чем на аэроснимках.

Холмистый рельеф характеризуется чередованием сравнительно небольших светлых участков, имеющих сглаженные очертания, с более темными промежутками между ними. Вершины холмов имеют обычно более светлый тон изображения, по сравнению со склонами и впадинами, и округлую или овальную конфигурацию. В залесенной местности вершины холмов, склоны и впадины могут различаться по породному составу насаждений и иметь обусловленные этим различия тона изображения. О неровностях поверхности на территории, занятой сельскохозяйственными полями, можно судить по рисунку контуров, образованных границами полей.

Эрозионный рельеф, системы балочного расчленения нередко подчеркиваются сельскохозяйственной освоенностью территории (рисунок 32).

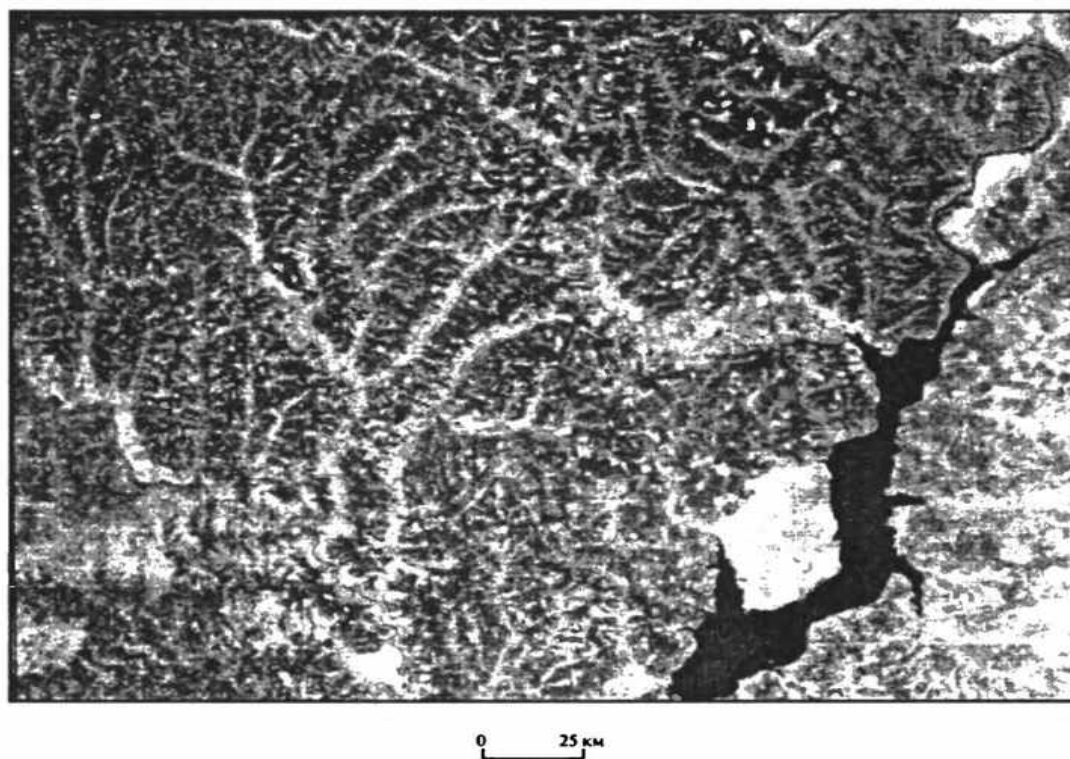


Рисунок 32 – Балочный эрозионный рельеф, выявляемый по сельскохозяйственной освоенности территории. Снимок МСУ-С/Метеор-30

На снимках среднего разрешения (от 100 до 300 м) на фоне сетчатой структуры изображения земледельческих массивов балочная сеть выделяется благодаря светлому бесструктурному тону изображения склонов балок с луговой растительностью.

На снимках более высокого разрешения (от 30 до 100 м) границы полей, распахиваемых до бровок склонов, четко оконтуривают верхние склоны и бровки балок (рисунок 33).

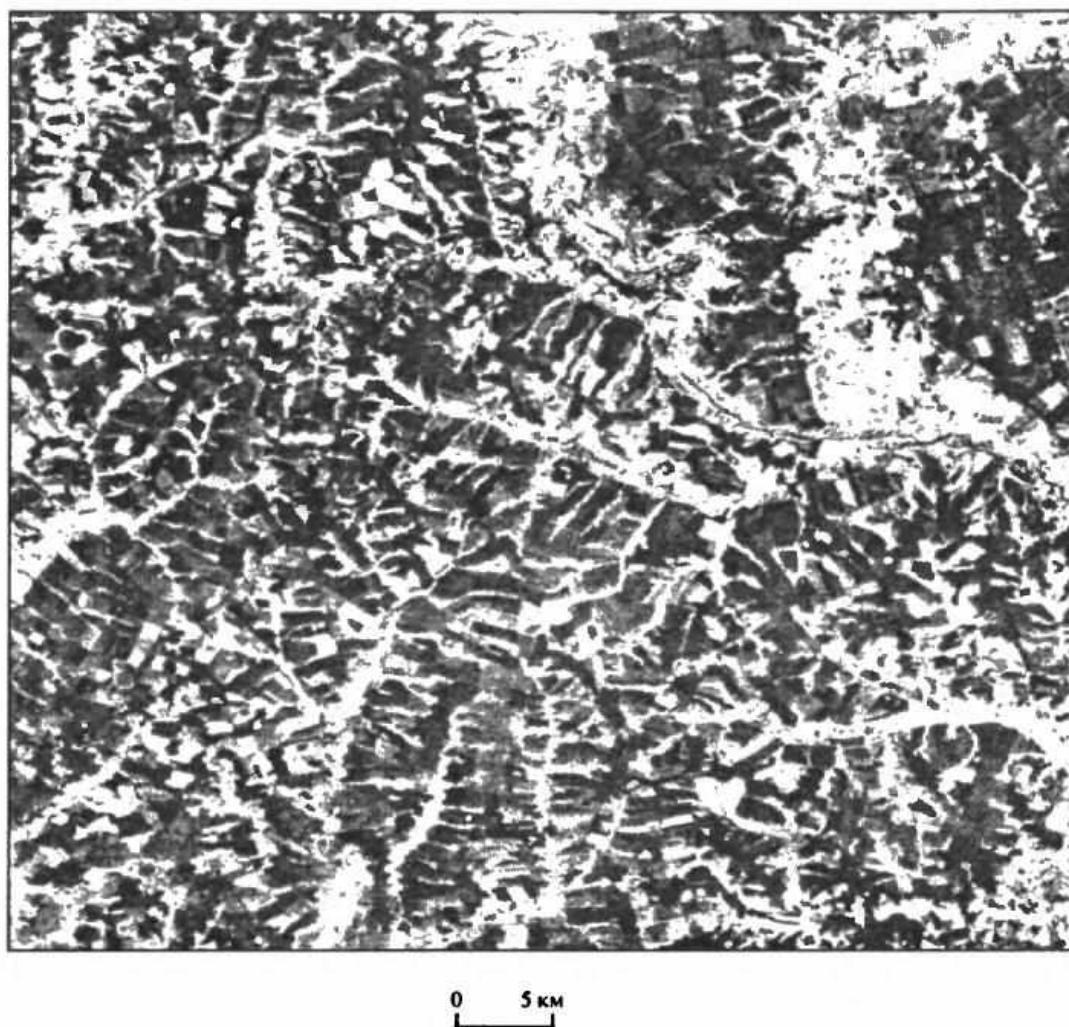


Рисунок 33 – Балочная сеть в районе Калачской возвышенности, отображающаяся благодаря контрасту изображения распаханых полей и естественной растительности по склонам балок. Снимок Фрагмент/ Метеор-30

Особенно четко выделяется балочная сеть в весеннее и осеннее время, при максимальной распахке полей, еще не занятых всходами, когда они по тону изображения резко контрастируют с естественной травянистой растительностью склонов и днищ балок или балочными лесами. Формы же овражной эрозии на космических снимках с разрешением в десятки метров не видны, они проявляются лишь на снимках очень высокого разрешения.

При косвенном дешифрировании почв очень существенным оказывается возможность определения по снимкам микрорельефа, который нередко находит хорошее отображение благодаря избыточной увлажненности западин, раннему развитию в них всходов сельскохозяйственных культур, неравномерности густоты всходов, появлению солевых корок. Хорошо развитый микрорельеф отображается пятнистым или полосчатым рисунком, по характеру которого можно судить о происхождении микрорельефа.

Таким образом, снимки позволяют выявить характер рельефа, определить его типы и формы. Далее исследователь, дешифрирующий почвенный покров в пределах определенной почвенной зоны, должен, учитывая влияние рельефа на процесс почвообразования, интерпретировать развитие тех или иных разновидностей почв в условиях разного увлажнения и прогревания, обеспечиваемого рельефом, выполняя индикационное пространственное прогнозирование.

Почвообразующие породы представляют своеобразный объект дешифрирования – их поверхность скрыта не только растительностью, но и почвами; непосредственное отображение на снимках они имеют лишь в высокогорных, пустынных и крайних полярных районах в случае отсутствия снежного покрова [22].

При дешифрировании почвообразующих пород почвовед интересуется их генезис, механический состав и границы между различными почвообразующими породами. В большинстве случаев почвообразующими породами равнин являются молодые четвертичные образования. Их

происхождение и развитие сопряжено с формированием рельефа, поэтому генетические категории четвертичных отложений определяются дешифрированием соответствующих элементов рельефа и их сочетаний. Многие генетические типы четвертичных отложений, особенно характерные для горных районов – гравитационные образования (оползни, оплывины, обвалы, осыпи, лавинно-селевые конусы выноса), делювиальные и элювиальные отложения отображаются лишь при очень высоком разрешении снимков: они надежно дешифрируются на материалах аэрофотосъемки, но обычно слабо отражаются на космических снимках. Появление материалов космической съемки сверхвысокого, субметрового разрешения расширяет перспективы космических снимков для изучения подобных объектов.

Эоловые образования, наиболее широко распространенные в пустынно-степной и пустынной зонах, где пески являются основной почвообразующей породой, дешифрируются по характерному эоловому рельефу, образуемому при перевевании песков (рисунок 34). Ему свойственно наличие барханов, дюн, бугров, гряд различных размеров, ориентированных по направлению господствующих ветров и хорошо дешифрируемых по рисунку изображения. Эоловые песчаные отложения, закрепленные растительностью, в лесной и лесостепной зонах обычно заняты сосновыми лесами. Сочетание песчаных бугров или дюн с борами представляет один из достоверных признаков эоловых отложений в этих зонах.

Косвенные признаки дешифрирования почв, рассмотренные выше – рельеф и почвообразующие породы, – являются по существу не индикационными, а прогностическими признаками, они побуждают почвоведов прогнозировать развитие определенного процесса и определенного типа почв в данных условиях почвообразования.

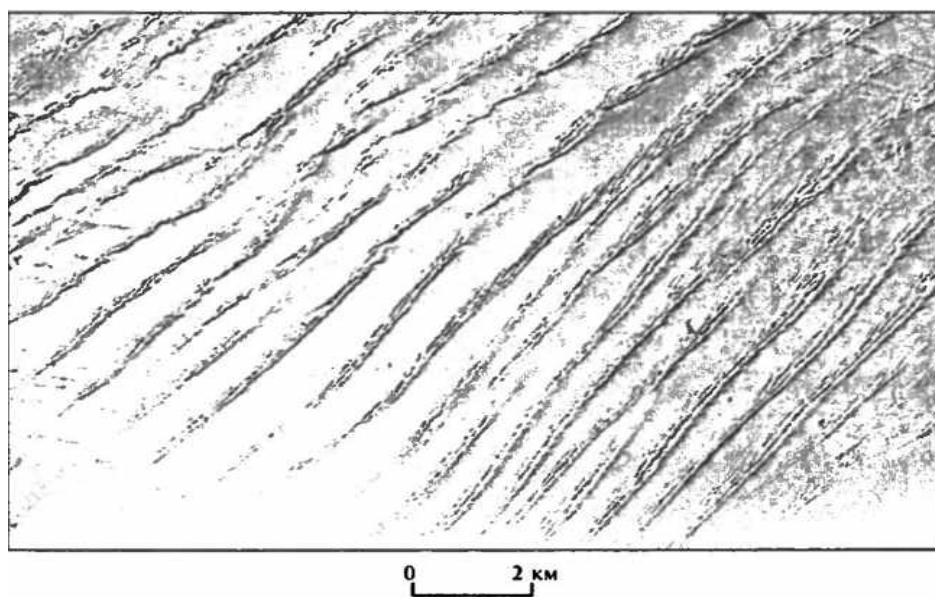
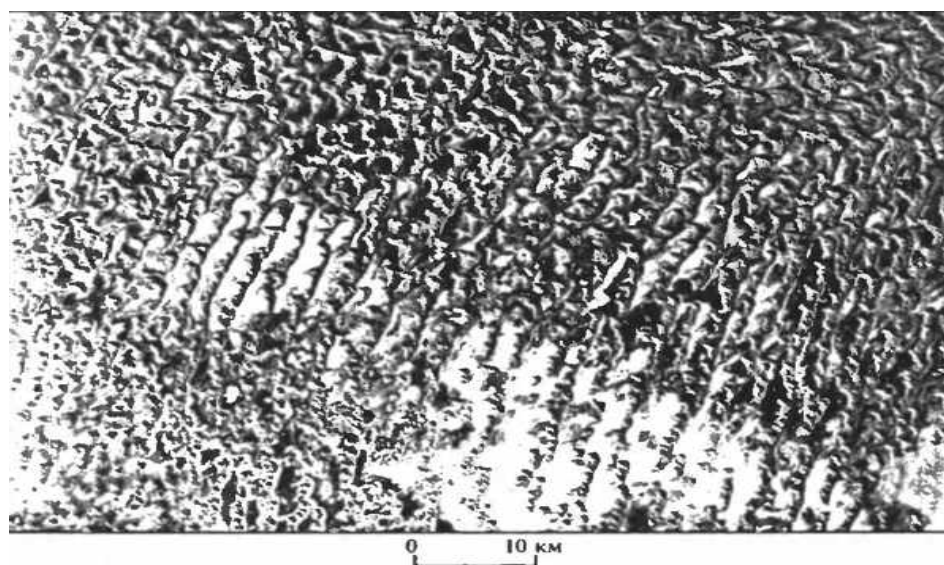
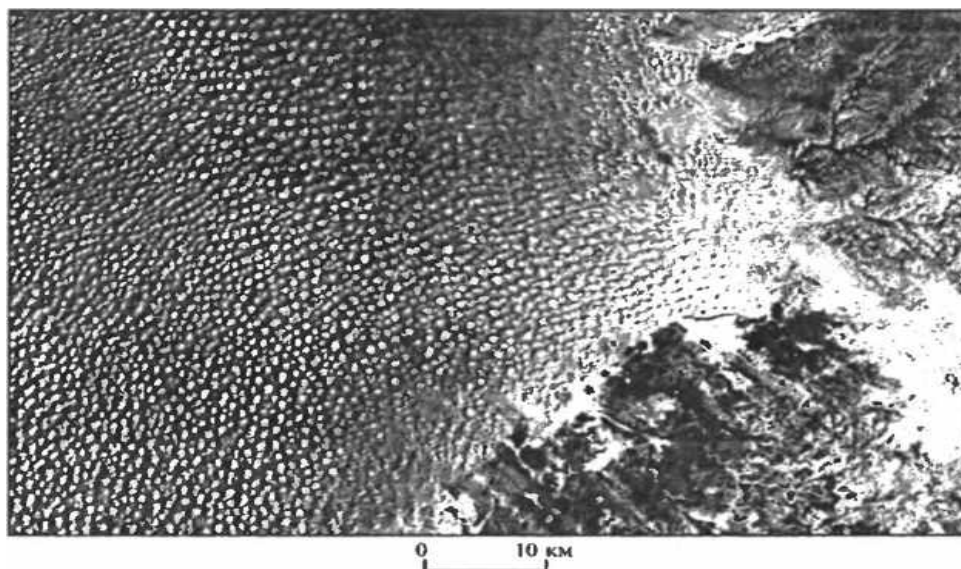


Рисунок 34 – Разные типы эолового рельефа на космических снимках

Растительность – следующий косвенный дешифровочный признак – также сохраняет прогностическое значение. Например, смена вертикальных растительных поясов в горах безусловно свидетельствует и об изменении соответствующих им типов почв (рисунок 35) [22].



Рисунок 35 – Вертикальная поясность растительности в горах Приэльбрусья. Снимок КФА-ЮОО/Ресурс-Ф

На приведенном снимке района Центрального Кавказа в Приэльбрусье вслед за нивально-гляциальным поясом, со скалами и осыпями, где почвенно-растительный покров отсутствует, изобразившимся на снимке серо-фиолетовыми тонами, появляются горные тундры, имеющие на снимке желтовато-фиолетовые оттенки, с горно-тундровыми почвами (подбурами). Они сменяются горно-луговыми (дерновыми альфегумусовыми) почвами альпийских и субальпийских лугов, которые изобразились светло-зеленым цветом, и далее – горно-лесными бурыми почвами (буроземы) березовых криволесий (на снимке ярко-зеленый цвет) и сосновых лесов (темно-

зеленый). Точно так же в районе развития Бэровских бугров в дельте Волги полупустынная растительность на вершинах бугров, изобразившаяся светлым желтоватым тоном, сменяющаяся солончаковыми лугами (розовый цвет на снимке) или зарослями тростника в понижениях между ними – ильменях (красно-фиолетовый цвет изображения), – указывает на чередование бурых пустынно-степных почв с лугово-солончаковыми и болотными почвами ильменных понижений (рисунок 36).



Рисунок 36 – Бэровские бугры в западной части дельты р. Волги с тростниковыми зарослями в заболоченных ложбинах-ильменях и полупустынной растительностью на вершинах бугров. Снимок МСУ-Э/Ресурс-О

Растительность, кроме того, может быть использована не только как прогностический, но и как индикационный признак благодаря хорошей изученности связи между почвами и распространением определенных типов растительности и видов растений.

Использование взаимосвязи растительности и почв при косвенном дешифрировании почв имеет наибольшее значение для территорий с первичным естественным растительным покровом. На освоенных или подвергавшихся воздействию человека территориях индикационная роль растительности уменьшается. Так, вторичные мелколиственные леса, нередко встречающиеся в пределах подзон средней и южной тайги и в зоне лиственных лесов, имеют широкий диапазон почвоприуроченности и их изображение мало пригодно для косвенного дешифрирования почв. В первичных же лесах породный состав и тип леса имеют тесную связь с почвами, и для дешифрирования используют специально разработанные индикационные таблицы такой связи, выявляемой при полевых исследованиях.

Основы индикационного дешифрирования разработаны С.В. Викторовым, Е.А. Востоковой, Д.Д. Вышивкиным (1962) применительно к растительности аридных территорий на примере использования ее в качестве индикатора при геологическом и гидрогеологическом дешифрировании, когда по растительности удается судить о глубине залегания и минерализации фунтовых вод. Б.В. Виноградов (1984) рассматривает растительность как индикатор не только генетических типов почв, но и отдельных их свойств – плодородия, засоления, механического состава.

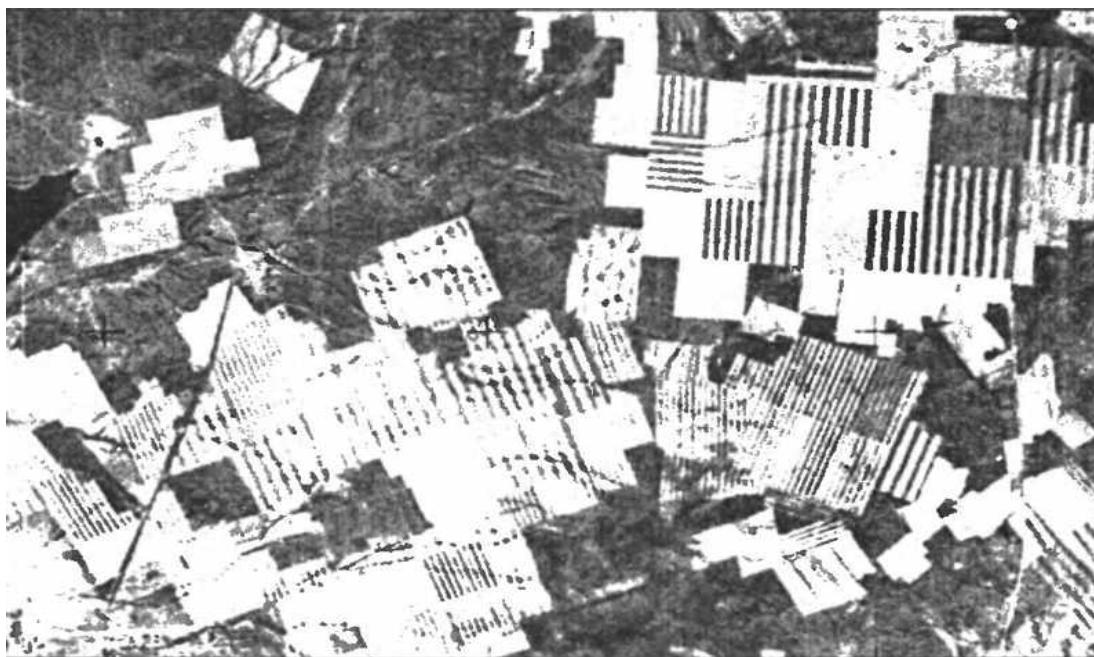
Основные признаки, используемые при дешифрировании растительности на космических снимках, – тон изображения, яркость. Наиболее надежно растительный покров дешифрируется по спектральной яркости при использовании многозональных снимков, особенно при сопоставлении снимков в красной и ближней инфракрасной зонах. Структура изображения, учитываемая при работе с аэрофотоснимками, когда она позволяет разделять основные лесообразующие породы, судить о размерах крон, сомкнутости древостоев, на космических снимках вследствие генерализации изображения теряет свое значение. Ведущая роль переходит к

яркостным спектральным признакам, позволяющим разделять лишайниковые, моховые, травянистые тундры, хвойные и лиственные леса, гидрофильную и гидрофобную растительность степей и полупустынь. Сочетания различных типов растительности, структура растительного покрова отражают структуру почвенного покрова.

Существенное значение для распознавания свойств почв имеет и дешифрирование культурной растительности, особенностей состояния посевов сельскохозяйственных культур, отражающего качество почв, их плодородие, а также структуру почвенного покрова. На ранних фазах развития посевов растительность не скрывает, а, напротив, подчеркивает особенности распределения и структуры почвенного покрова.

Опыт картографирования почв различных природных зон показал, что к числу их дешифровочных признаков относится и хозяйственное использование территории. Так, в лесной зоне пахотные земли приурочены к определенным типам почв, например, в Мещере – к темно-серым лесным, вклинивающимся в занятые лесами массивы со светло-серыми лесными и подзолистыми почвами. В степной зоне, где фактически все почвы распаханы, признаком почвенных границ может служить изменение размеров и нарезки полей. Так, для лугово-черноземных почв по долинам рек и балок на юге европейской части страны характерно вклинивание мелкоконтурных полей огородных культур и кормовых севооборотов среди крупных прямоугольников полей зерновых на плакорах с зональными черноземными или каштановыми почвами.

Роль дешифровочных признаков играют и типы ведения сельского хозяйства, которые обычно складываются с учетом естественных свойств земель. Так, почвозащитные противодефляционные севообороты с полосной системой размещения посевов, опознаваемые на космических снимках, индицируют в степях Казахстана легкие по механическому составу почвы – супесчаные, легкосуглинистые (рисунок 37) [22].



0 2 км

Рисунок 37 – Противодефляционные полосные посевы в северном Казахстане. Снимок КФА-1000/Ресурс-Ф

Типичные зональные парозерновые севообороты, напротив, приурочены к суглинистым и тяжелосуглинистым почвам. На южных склонах хребта Тарбагатай и северных склонах Джунгарского Алатау по размещению пахотных угодий точно отбиваются на космических снимках те участки степных низкогорий, которые перекрыты лессовым плащом и характеризуются хорошо развитыми каштановыми почвами. В то же время нераспаханные массивы низкогорий, используемые под пастбища, индицируют кустарниковые степи с каменисто-щебенчатыми малоразвитыми горными дерново-степными почвами (рисунок 38).

Опыт дешифрирования космических снимков показывает, что хотя смена большинства зональных типов почв прослеживается на снимках равнинных районов с трудом, однако внутризональные вариации почвенного покрова, вызванные изменением условий рельефа, увлажнения, засоления и

т.п., отражаются очень хорошо. Поэтому на космических снимках хорошо выражена структура почвенного покрова, его комплексность.



1 – каменисто-щебнистые малоразвитые горные дерново-степные почвы в предгорьях Тарбагатай; 2 – хорошо развитые каштановые почвы на лессах.

Рисунок 38 – Отображение границ. Снимок МКФ-6/Союз-22

Выше рассмотрены разные факторы почвообразования, выступающие как индикаторы при косвенном дешифрировании почв. В реальной обстановке осуществляется их сопряженный анализ с учетом всего ландшафтного рисунка, как естественного, так и агроландшафтного. Поэтому можно говорить о ландшафтном индикационном дешифрировании почв как основном методе их изучения и картографирования по космическим снимкам [22].

7.7 Временные признаки дешифрирования почв

Оптимальный сезон для съемки почв разных типов

Эффективность применения материалов космической съемки для изучения почвенного покрова в значительной степени зависит от времени проведения съемки. Весенний период после схода снежного покрова и просыхания почв – период наибольшей открытости почв – лучшее время получения снимков для непосредственного дешифрирования почв по прямым признакам. Осенний период распашки полей под озимые культуры также оптимален, так как характеризуется большими площадями открытых почв. К тому же в это время на снимках отображаются осенние влагозапасы.

Для изучения почв под посевами сельскохозяйственных культур используются косвенные признаки – состояние посевов. Их дифференциация хорошо отображается на снимках на первых стадиях развития посевов, до выхода колосовых в трубку; в это время на более гумусированных и увлажненных почвах микропонижений рельефа всходы развиваются раньше и образуют более сомкнутый покров с большей растительной биомассой. Впоследствии растительный покров выравнивается и его дифференциация, связанная с разными почвенными условиями, менее заметна. В других случаях в переувлажненных западинах образуются «вымочки» – пятна без растительности. При созревании посевов пятнистый тон изображения полей также передает их изреженность и может быть использован для суждения о состоянии почв. После уборки урожая на полях под стерней дешифрирование почвенного покрова наиболее затруднено, практически невозможно.

Для изучения влажности почв целесообразно использовать ранневесенние снимки, сразу после схода снежного покрова. По тепловым инфракрасным снимкам в это время возможна оценка весеннего просыхания почв и их готовности к обработке. В период осенней распашки под озимые целесообразно использовать тепловую съемку с целью оценки влагозапасов для развития озимых культур.

Очевидно, что оптимальное время съемки для исследований почв в разных природных условиях будет неодинаковым и в большинстве случаев определяется максимальными цветовыми различиями растительного покрова – основного индикатора почв.

В зоне тундр с их коротким бесснежным периодом выбор ограничен и дополнительно осложнен неблагоприятными погодными условиями съемки; и тем не менее наиболее оптимальным представляется конец короткого полярного лета, когда лишайниковая, моховая, луговая, болотная, кустарничковая растительность достигает наибольших цветовых различий. В лесной зоне, где индикатором почв становится породный состав лесов, а также луговая и болотная растительность долин, приозерных котловин, аласов, наибольшая цветовая дифференциация ландшафта наблюдается весной, в период распускания лиственных пород и выбрасывания новых побегов хвойных, и осенью, в период осенней раскраски лесов. В лесостепной и степной зонах, характеризующихся наибольшей распаханностью земель, как уже указывалось, важно получить максимальное отображение открытых почв, для чего съемка должна выполняться весной, после весенней пахоты, но до полного развития посевов, или осенью, после зяблевой вспашки под посевы озимых культур.

В полупустынной и пустынной зонах наиболее ценным представляется короткий весенний период вегетации растительности, в значительной степени эфемеровой. В то же время, работая с такими снимками, необходимо иметь в виду сиюмоментность запечатленной картины, так как растительность с наступлением лета быстро выгорает. Определенный эффект дает и использование позднелетних снимков, где на фоне выгоревшей растительности плакоров контрастно выделяются участки гидрофильной растительности в заболоченных понижениях и сухие пятна солончаков с солевой коркой на поверхности, которые в весеннее время, пока они увлажнены, выделяются менее четко [22].

Дешифрирование почв по сезонным признакам и изучение динамики почвенного покрова

Сезонная изменчивость не характерна для большинства типов почв, поэтому дешифрирование по временным признакам имеет при анализе изображения почв по прямым признакам ограниченное применение. Исключение, пожалуй, составляют солончаки и солончаковые комплексы в сухостепной зоне. Весной и поздней осенью во влажном состоянии они изображаются на снимках темно-серым или почти черным тоном, а летом при высыхании покрываются корочкой соли и на снимках имеют почти белый тон.

Другое дело – дешифрирование почв по косвенным признакам, по растительности, так же как и дешифрирование самой растительности. Здесь надежным признаком могут быть сроки прохождения разных фенофаз развития растений, а в случае сельскохозяйственных посевов – также и сроки проведения сельскохозяйственных работ, различающиеся для разных культур. Сельскохозяйственный календарь, из которого для каждой культуры известно время пахоты, посадки или посева, прохождения основных фенофаз развития, созревания, уборки, – надежный помощник при определении видов сельскохозяйственных культур по серии разносезонных снимков.

Разносезонные снимки успешно применяются для исследования почв и сельскохозяйственной растительности на территориях с выраженными сухим и влажным сезонами. Такая методология многовременного физико-географического анализа использовалась в исследовательских проектах в Колумбии, Индии, Судане, Танзании и дала хорошие результаты.

Использование снимков, полученных с интервалом в несколько лет для исследования динамики природных процессов, имеет для почвенного дешифрирования ограниченное применение ввиду слабой временной изменчивости почвенного покрова. В то же время его изменения, связанные с антропогенным воздействием, в ряде случаев находят отображение на космических снимках. Это относится к развитию эрозионных процессов и

форм эрозионного рельефа, объективному выявлению и прогнозированию изменений почвенного покрова при мелиоративных работах, выявлению воздействия на почвенно-растительный покров вредных выбросов промышленных производств [22].

7.8 Особенности дешифрирования почв разных природных зон

Значимость прямых дешифровочных признаков в разных природных зонах неодинакова, они используются на территориях с высокой распаханностью, то есть в лесостепной и степной зонах. Ведущие факторы почвообразования, определяющие косвенные дешифровочные признаки, в разных природных зонах также меняются. В некоторых зонах, например в зоне тундр, сухих и пустынных степей, надежным косвенным признаком для опознавания почв является микрорельеф, в лесной зоне в первую очередь значима растительность. Поэтому для определенных природных зон важна возможность косвенного дешифрирования почв по их взаимосвязи с растительностью, для других – с микрорельефом. Таким образом, дешифрирование почв каждой природной зоны имеет свои специфические особенности [22].

Дешифрирование почв зоны тундр

Индикационные связи «почва – растительность» для тундр изучены недостаточно, что затрудняет индикационное дешифрирование почв тундр. В самых общих чертах эти связи представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Индикационные признаки дешифрирования почв зоны тундр (по Афанасьевой, 1965)

Почвы	Растительность
Полигональные	Изредка только лишайниково-моховая
Тундровые глеевые	Лишайниково-моховая
Торфяно-глеевые	Моховая
Торфяники	Кустарниковая
Подзолисто-глеевые	Лесотундра
Дерново-луговые	Луговая

По опыту работы с аэрофотоснимками В.Н. Андреевым (1955) предложена методика ландшафтного дешифрирования тундр нескольких типов – низинных арктических полигональных болот – валиковых, валиково-озерковых, бугристо-мочажинных, грядово-полигонально-мочажинных, представляющих собой разные стадии развития мерзлотного рельефа и формирования почв от торфянисто-глеевых через торфяно-глеевые и маломощные торфяные почвы к среднемощным торфяным почвам; торфяных болот с торфяно-глеевыми и торфяными почвами и др. На аэрофотоснимках эти типы тундр различаются по морфологическим признакам – выраженности валикового и бугристого рельефа, размерам, форме и расположению озерков, морозобойным трещинам. Но малые размеры всех этих элементов, хорошо читаемых на аэроснимках, не обеспечивают их изображение на снимках из космоса. Однако другие типы тундр, с формами рельефа больших пространственных размеров, выявляемые по приуроченной к ним растительности, отображаются и на космических снимках. Примером может служить реликтовый рельеф крупных аласных котловин, сформировавшихся в результате спуска или зарастания термокарстовых озер, образовавшихся при таянии линз подземных льдов в голоценовый максимум потепления [22].

Дешифрирование почв лесной зоны

Зональные почвы лесной зоны – подзолистые и дерново-подзолистые, находящиеся под покровом лесной растительности, по прямым признакам дешифрировать не удастся. Однако косвенное ландшафтное дешифрирование с учетом породного состава насаждений, почвообразующих пород, положения в рельефе дает возможность выделять не только типы, подтипы, виды почв, но и их разновидности.

Дешифрирование снимков лесных территорий позволяет выявить сетку контуров предположительно разных почв; содержание же контуров определяется путем выборочных ключевых наземных исследований или на основе знания взаимосвязей между лесной растительностью и почвами.

Однако эти взаимосвязи выявлены пока недостаточно четко. Индикационные таблицы, устанавливающие связь рельеф – тип леса – почвы для лесной и лесостепной зон, были разработаны для разных подзон лесной зоны при использовании аэрофотоснимков. При соответствующей трансформации их можно применять и при работе с космическими снимками.

Морфографическое дешифрирование лесов с учетом особенностей изображения крон деревьев, структуры верхнего полога леса, получившее развитие при использовании аэрофотоснимков, так же как и морфометрическое дешифрирование, при котором по снимкам определяются количественные характеристики насаждений, теряют свое значение при работе с космическими снимками в связи с генерализованностью их изображения. Основными становятся тоновые различия, цвет изображения, используется спектральный образ лесообразующих пород, ландшафтная приуроченность контуров.

Косвенное дешифрирование почв лесной зоны по их связи с породным составом лесов существенно усложняется при сведении первичных лесов и развитии на их месте вторичных, характеризующихся более широкой почвенной приуроченностью.

Значительную часть лесной зоны – около 20 % ее площади – занимают болота; ее пререзают также речные долины с луговой растительностью. Заливные луга с аллювиальными почвами дернового типа, распространенные в поймах рек, дешифрируются по рисунку речных долин, безлесные полосы которых обычно выделяются на фоне окружающей лесной растительности более светлым тоном. Для наиболее крупных долин характерен рисунок чередующихся в виде полос слаборазвитых дерновых песчаных или супесчаных почв прирусловых валов, ленты которых изображаются более светлым тоном, и заболоченных суглинистых почв ложбин между прирусловыми валами, имеющих более темный тон изображения. В притеррасной пойме вдоль уступа надпойменной террасы дешифрируются по более темному тону лугово-болотные глинистые и торфяно-болотные почвы. Четко выделяются поймы с грядистым рельефом и неоднородным почвенным покровом, в котором дерновые почвы гряд чередуются с дерново-глеевыми и лугово-болотными почвами.

Вопросы дешифрирования типов болот и болотных почв на аэроснимках хорошо проработаны. Разработана классификация болот с указанием их дешифровочных признаков на аэроснимках, в основном опирающихся на структуру изображения, не воспроизводимую на космических снимках. Для низинных, переходных, верховых болот характерны разные почвы, разное качество торфяной залежи. Низинные болота имеют более темный тон и бесструктурное изображение, переходные и верховые – более светлый тон и пестрый рисунок изображения. Для торфяных, торфяно-глеевых, торфянисто-перегнойно-глеевых почв признаки дешифрирования были определены по аэроснимкам, однако возможность разделения их по космическим снимкам проблематична.

В подзоне дерново-подзолистых почв до 30 % площади земель распаханно. Почвы пахотных земель дешифрируются непосредственно по тону изображения, а также положению в рельефе. Наиболее светлым тоном отличаются подзолистые почвы, приуроченные к водораздельным

пространствам. Дерново-подзолистые почвы, приуроченные к верхним частям склонов, имеют светло-серый тон изображения за счет увеличения содержания в них гумуса; дерново-подзолистые оглеенные почвы тяготеют к нижним частям склонов и понижениям и имеют более темный серый тон и пятнистый рисунок изображения [22].

Дешифрирование почв лесостепной зоны

Лесостепная зона с серыми и темно-серыми лесными почвами отличается от лесной значительно более сильной распаханностью – сельскохозяйственные земли занимают здесь до 80 % – 90 % территории. Поэтому здесь в большей мере возможно дешифрирование по прямым признакам – тону или цвету изображения почв на распаханых полях, который в свою очередь зависит от содержания гумуса, механического состава и влажности почвы, иногда степени оподзоленности или оглеенности. Эти характеристики часто меняются на небольших расстояниях, при незначительных изменениях условий рельефа или почвообразующих пород, обуславливая пестрый пятнистый или полосчатый рисунок изображения — светлые пятна характерны для супесчаных, песчаных почв с очагами дефляции, темные полосы — для тяжелосуглинистых.

Изменение содержания гумуса от 1 % – 1,5 % у подзолистых почв к 3 % – 4 % у светло-серых лесных, к 4 % – 5 % у серых лесных, к 5 % – 6 % у темно-серых лесных и более 6 % у черноземов оказывается решающим фактором, позволяющим при массовой распашке территории определять по снимкам границы зональных почв, которые в других природных зонах обычно не дешифрируются [22].

Дешифрирование почв сухостепной и пустынно-степной зон

Для различных типов и подтипов черноземных почв степной зоны характерна закономерная смена растительности: на мощных черноземах развиты луговые степи, на обыкновенных черноземах – разнотравно-типчаково-ковыльные, на южных черноземах – типчаково-ковыльные. Однако физиономическое однообразие изображения сохранившейся целинной растительности этих типов не обеспечивает достаточно надежного их разделения на снимках.

С другой стороны, распаханность большей части территории степной зоны позволяет при использовании снимков, полученных в весеннее и осеннее время, когда распаханное поле еще не занято посевами, обращаться к прямым дешифровочным признакам почв – тону или цвету изображения, который зависит главным образом от содержания гумуса в верхнем пахотном слое. Благодаря этому, как указывалось выше, удастся различать между собой светло-серые лесные, серые, темно-серые лесные почвы и отличать их от черноземов оподзоленных, выщелоченных и типичных. Однако при повышении содержания гумуса более 5 % – 6 % тон изображения становится почти черным, и дальнейшее увеличение гумусности не меняет его, так же как и увеличение мощности гумусового горизонта более чем на глубину распашки. Таким образом, основные зональные типы почв степной зоны даже на снимках, сделанных в период максимальной открытости почв, по прямым признакам практически не распознаются. Включения же интразональных почв нередко выявляются достаточно уверенно – так, лугово-черноземные почвы долин малых рек и балок выделяются по потемнению фототона в связи с увеличением влажности почв, солонцы и солончаки – по светлому тону и сложноконтурному рисунку изображения, солоди, развивающиеся в западинах, на месте сведенных колочных лесов и кустарников, изображаются как осветленные пятна округлой формы. По специфическому сложному и мелкопятнистому рисунку изображения выявляются встречающиеся в степной зоне почвенные комплексы, для

которых характерна закономерная смена ареалов различных почв, обусловленная чередованием форм микрорельефа, а также сочетания почв, связанные с формами мезорельефа.

Основную часть материалов космической съемки получают в летнее время, когда на полях уже развиты посевы, и специфика дешифрирования почв степной зоны состоит в их распознавании через культурную сельскохозяйственную растительность. На полях со всходами культур поверхность почвы в разной мере скрыта от непосредственного наблюдения. Зерновые культуры в фазах от всходов до выхода в трубку мало влияют на изображение почв. С выходом в трубку зерновые культуры получают хорошее вегетативное развитие, практически полностью закрывают поверхность почвы и определяют тон изображения на снимках. Неравномерное развитие посевов на ранних стадиях вегетации само может быть индикационным признаком вариаций почвенного покрова.

Сухостепную зону считают классической для дистанционного исследования почвенного покрова. Для нее наиболее подробно изучены взаимосвязи между растительностью, мезо- и микрорельефом и почвенными типами, подтипами и разновидностями. Почвенно-растительный покров сухостепной зоны неоднородный, комплексный. Типичная растительность зоны, развитая на темно-каштановых почвах, — полынно-типчаково-ковыльная, а на светло-каштановых — полынно-типчаковая.

Разделение этих типов растительности по снимкам проблематично. На распаханых территориях появляется возможность разделения темно- и светло-каштановых почв, так как содержание гумуса в них по сравнению с черноземами уменьшается, составляя около 4 % — 5 % для темно-каштановых, характеризующихся серым тоном изображения, и около 2 % для светло-каштановых почв, изображающихся светло-серым тоном. В комплексе с зональными каштановыми почвами, в том или ином соотношении, распространены солонцы с разреженной низкорослой растительностью — полынью, черной полынью и фреатофитами —

камфаросмой, кокпеком, биюргуном, тас-биюргуном. Часто двухчленный комплекс сменяется трехчленным почвенно-растительным комплексом, третьим компонентом которого является разнотравно-злаковая растительность на лугово-каштановых почвах. Солонцы выявляются по светлому тону и мелкопятнистому рисунку, лугово-каштановые почвы, приуроченные к обширным степным западинам, выделяются в виде крупных пятен темно-серого тона.

Те же особенности дешифрирования характерны для пустынно-степной (полупустынной) зоны. Развитие различных форм мезо- и микрорельефа в аридных условиях определяет специфический тепловой, водный и солевой режимы почв, что в свою очередь обуславливает строгую приуроченность почв и растительности к элементам мезо- и микрорельефа и соответственно – комплексность.

Растительность позволяет достаточно достоверно дешифрировать почвенный покров полупустыни. Комплексный почвенно-растительный покров обычно имеет кружевной мелкопятнистый рисунок изображения. Серые и светло-серые ареалы соответствуют фоновой полынно-типчаковой растительности на светло-каштановых почвах. Среди них выделяются светлые со сложной конфигурацией пятна солончаков с развитой на них фреатофитной растительностью и солевыми выцветами. Для трехчленных комплексов характерно появление третьего вида пятен темно-серого тона, соответствующих более увлажненным понижениям с гидрофильной растительностью на лугово-солончаковых почвах. Форма пятен различная, у пятен темно-серого тона близка к округлой или овальной, небольшие светлые пятна имеют извилистые границы.

Для сухостепной и пустынно-степной зон характерны также почвенно-растительные сочетания, включающие в себя крупные территории с однородным растительным покровом и такие же по площади территории с комплексным покровом.

При исследовании комплексного почвенно-растительного покрова сухостепной и пустынно-степной зон важно определение процентного содержания компонентов комплекса. Специальные методики такого определения на выборочных участках были разработаны применительно к аэроснимкам. Теперь, с использованием компьютерной обработки космических снимков, задача существенно упрощается [22].

Дешифрирование почв зоны пустынь

В зоне пустынь с серо-бурыми и сероземными почвами специфика климатических условий определяет особенно тесную взаимосвязь между всеми элементами ландшафта, и дешифрирование почв должно основываться на изучении их связей с растительностью, рельефом, почвообразующими породами. Выявленные исследователями пустынь С.В. Викторовым (1947), Б.А. Федоровичем (1983) и др. закономерности этих связей могут быть положены в основу косвенного дешифрирования почвенного покрова этой зоны.

Для работы с аэроснимками С. Викторовым был предложен морфометрический метод дешифрирования пустынной растительности, являющейся показателем условий местообитания, в том числе и почв, основанный на измерениях распределения растений в ценозах. Ввиду генерализации изображения на космических снимках такой подход при их дешифрировании неприменим. Зато хорошее отображение на снимках ландшафтной дифференциации территории, рельефа развееваемых песков, пятен солонцов, солончаков, такыров дает возможность выделять на фоне зональных серо-бурых и сероземных почв включения почв, развивающихся в особых условиях рельефа, коренных пород, засоления, увлажнения. В результате возможно дешифрирование детальной картины распределения почвенного покрова [22].

Оценка дешифрируемости почв на космических снимках

Опыт дешифрирования по космическим снимкам почв разных природных зон показывает, что на оптимальных для обзорных исследований почвенного покрова среднемасштабных космических снимках, имеющих разрешение от 10 до 100 м, зональные фоновые типы почв определяются далеко не всегда. Среди зональных типов почв по прямым признакам разделяются почвы с содержанием гумуса от 2 % до 5 %, то есть два ряда почв: лесной и лесостепной зон (подзолистые – дерново-подзолистые – светло-серые лесные – серые лесные – темно-серые лесные – черноземы оподзоленные и выщелоченные) и почвы сухостепной и полупустынной зон (темно-каштановые – светло-каштановые – серо-бурые и сероземы). Не разделяются между собой зональные почвы степной зоны (черноземы обыкновенные, типичные, мощные, тучные, южные, которые не отделяются также от темно-каштановых почв). Однако при не всегда надежной делимости зональных типов почв хорошо дешифрируются внутризональные вариации почвенного покрова, вызванные изменениями условий рельефа, увлажнения, засоления и т.п. Во всех зонах надежно выявляются почвы гидроморфного ряда: тундровые болотные, болотно-луговые почвы аласов; торфяно-глеевые, торфяные и лугово-болотные почвы лесных болот; луговые; лугово-черноземные; лугово-каштановые и т.д.

Выделяются песчаные почвы и пески (грядовые, барханные, бугристые); почвы, сформированные на разных почвообразующих породах; аллювиальные и древнеаллювиальные почвы; почвы современного и древнего орошения; эродированные почвы. В аридных условиях выявляются солончаки разного типа – приморские (маршевые), луговые, соровые. Разделяются благодаря отображению вертикальной зональности растительности горные почвы.

На снимках крупного масштаба и высокого разрешения от 1 до 10 м выявляется комплексный почвенный покров, например характерные для сухих степей двучленные комплексы зональных каштановых почв и

солонцов, трехчленные комплексы каштановых почв, лугово-каштановых и солонцов.

По механическому составу распознаются почвы глинистые, песчаные, щебнистые, однако слабо разделяются почвы глинистого и суглинистого, песчаного и супесчаного механического состава. Не выявляются видовые различия почв [22].

7.9 Особенности дешифрирования снимков в тепловом инфракрасном диапазоне

На снимках в тепловом диапазоне, получаемых с помощью тепловых инфракрасных радиометров, осуществляющих просмотр местности по принципу сканирования, в тоне изображения отображаются тепловые характеристики поверхности. Поскольку каменистые поверхности, песок, глина нагреваются солнечными лучами по-разному, они должны изобразиться на тепловых инфракрасных снимках разным тоном. Температура поверхностного слоя почв зависит от их влажности, поэтому имеется потенциальная возможность определять влагосодержание почв косвенным методом, по их температуре, регистрируемой при съемке в тепловом диапазоне. Скорость остывания нагретых поверхностей, тепловая инерция также зависит от материала, которым сложена поверхность, и может служить индикационным признаком почв, их механического состава, но для этого съемка должна выполняться во время как суточного максимума, так и минимума температур. В случае же дешифрирования одноразового снимка необходимо принимать во внимание часы съемки. При этом ночная съемка в большинстве случаев оказывается эффективнее дневной, когда нагревание поверхности Солнцем вносит определенные осложнения («дневной фон»).

Возможности получения разнообразной информации о почвенном покрове при тепловой съемке хорошо иллюстрирует тепловой инфракрасный снимок с метеорологического спутника NOAA на район атлантического побережья США (рисунок 39).

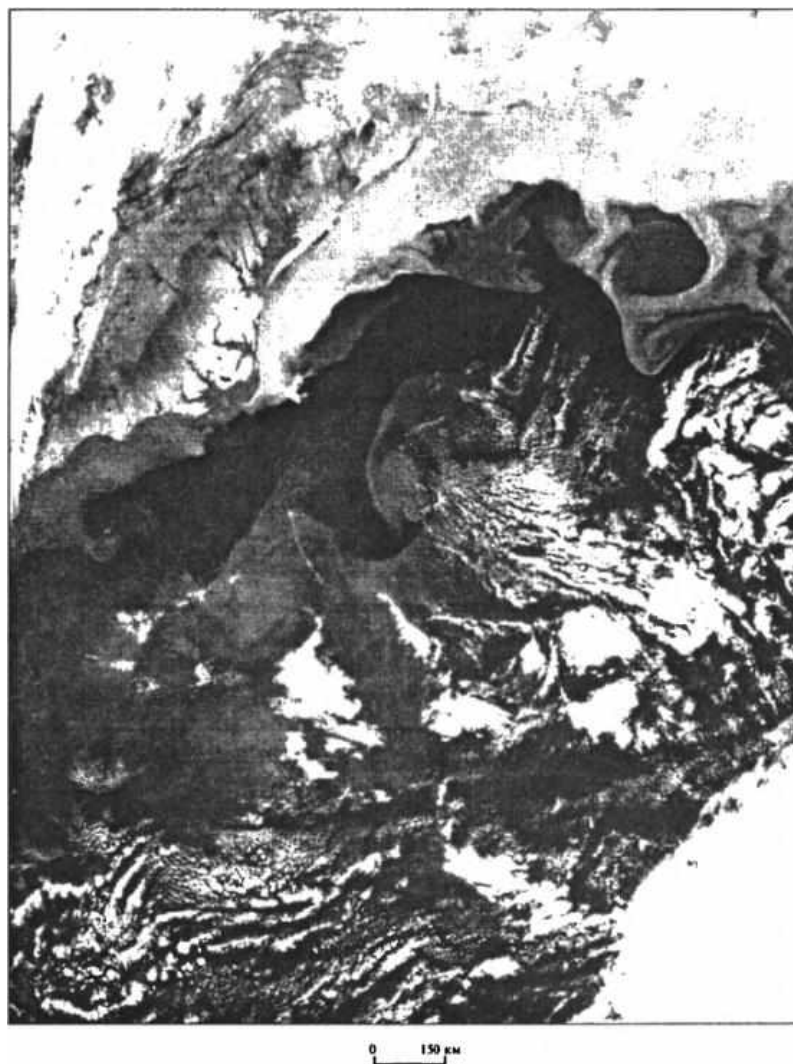


Рисунок 39 – Тепловой инфракрасный снимок AVHRR/NOAA на северную Атлантику с течением Гольфстрим

Снимок масштаба 1 : 12 000 000 с охватом 2500 км сделан весной, 28 апреля, в утренние часы, когда температурные контрасты особенно велики и еще не сказывается дневное нагревание поверхности. Большую часть снимка занимает акватория северо-западного сектора Атлантического океана

с хорошо выделяющейся темной (теплой) струей Гольфстрима, четким контрастом его с холодными (светлыми) водами северной Атлантики, развивающимися вдоль этого фронта кольцевыми завихрениями – рингами, холодным Лабрадорским противотечением, проникающим далеко к югу вдоль атлантического побережья США.

Объект нашего интереса в данном случае – суша – занимает северо-восточную часть охваченного съемкой района. Здесь отобразилось неравномерное весеннее прогревание поверхности с постепенным повышением температур с севера на юг и от побережья в глубь суши. Однако эти главные закономерности нарушаются в зависимости от характера поверхности.

На побережье, несмотря на уже хороший прогрев воды в морских лагунах, имеющих темно-серый тон изображения, видны очень светлые участки суши, пониженная температура поверхности которых может быть объяснена переувлажненностью, заболоченностью почв прибрежных районов. На юго-восточных равнинах, на расстоянии от 100 до 200 км от побережья, напротив, выделяется темная полоса прогретых почв. Согласно картам Атласа США здесь находятся почвы легкого механического состава – супесчаные; раннее весеннее их высыхание и прогревание объясняют появление этой температурной аномалии на снимке. В северо-восточной части территории обращает на себя внимание полосчатость изображения, смена параллельно расположенных изогнутых темных и светлых полос.

Сопоставление с картой показывает, что таким образом отразились на снимке хребты и долины Аппалачей, где смена температур связана с чередованием залесенных склонов хребтов и обнаженных выходов коренных пород, а также с наличием вертикальных градиентов температур и вертикальной поясностью ландшафтов. И наконец, на северо-восточном побережье, на берегах Чезапикского и других заливов выделяются темные пятна на месте городов Вашингтон, Балтимора, Ричмонд, Филадельфия, Нью-Йорк. Так отображается тепловое воздействие крупных городских

агломераций и промышленных центров на прилегающие территории. Зона теплового воздействия существенно превышает площадь самих городов, а температурные контрасты между центральными частями городов и природным окружением достигают в это время года от 10° до 15°.

Приведенный пример показывает достаточно широкие возможности, открывающиеся при использовании тепловых инфракрасных снимков для анализа распределения почвенного покрова – это и механический состав почв, их влажность и антропогенное воздействие на природу. Однако главной остается возможность оценки влажности почв. Разрабатываются методы количественного определения влажности почв по тепловым снимкам, что представляет непростую задачу в связи с тем, что зависимость между влажностью и яркостью нелинейная и, кроме того, она неодинакова при разном гранулометрическом составе почв. Поэтому получают разные уравнения связи для различных генетических типов почв. Методы определения по снимкам влажности почв активно разрабатываются, в частности, идет поиск наиболее оптимального диапазона съемки для этих целей. В связи с этим весьма перспективным представляется использование гиперспектральной съемки, например, системой MODIS, имеющей 36 каналов, большая часть из которых приходится на различные участки теплового инфракрасного диапазона. Поскольку пространственная картина влажности почв очень изменчива, для этих целей важно повышение разрешения тепловых снимков. Достигнутое в сканирующей системе ETM+/Landsat разрешение снимков теплового диапазона 60 м вполне удовлетворяет решению этих задач [22].

7.10 Особенности дешифрирования снимков в радиодиапазоне

Съемка в радиодиапазоне, помимо всепогодности метода, привлекательна для почвенных исследований тем, что позволяет изучать характеристики почв, не отображаемые на снимках в видимом диапазоне. Это относится, прежде всего, к содержанию влаги в почвах и степени их засоления. Оба эти параметра влияют на излучение почв в микроволновом радиодиапазоне. С уменьшением влажности почвы увеличиваются коэффициенты микроволнового излучения. Оно зависит также от других свойств поверхности, таких как содержание солей, шероховатость, но зависимость его от содержания влаги проявляется в большей степени. Микроволновое излучение может поступать не только от поверхности, но и от слоев почвы, находящихся на некоторой глубине (в однородных грунтах до 10 – 40 см). Датчик при этом воспринимает единый сигнал, характеризующий весь слой. Глубина, на которую проникает излучение, зависит от длины волны. Для изучения влажности почв лучше подходят длины волн 10 см и более. На диэлектрические характеристики почв влияет их гранулометрический состав.

Для определения влажности почв с самолета Институтом радиотехники и электроники (ИРЭ) РАН разработана специальная микроволновая аппаратура («микроволновой влагомер»), успешно применявшаяся на богарных землях в Курской области, в Крыму и для контроля за поливом при орошаемом земледелии в Молдавии и Средней Азии. Однако «влагомер» записывает сигнал от узкой полосы профиля, расположенного вдоль маршрута самолета, и для получения пространственной картины приходится выполнять интерполяцию между профилями. Для космических носителей разработаны микроволновые сканирующие радиометры, позволяющие при пассивном методе съемки получать изображение, но пока такие снимки имеют очень грубое разрешение. На снимках, полученных со спутника

Nimbus-7, оно составляет 12 км, а система AMSR-E спутника Aqua дает снимки с разрешением 6 км.

Это слишком большая величина, чтобы отображать вариации почвенного покрова разной влажности и солености. Такие снимки пытаются использовать для определения влагосодержания снежного покрова, что необходимо при гидрологическом прогнозировании в целях определения объема талого стока. Особенность работы с микроволновыми снимками состоит в необходимости найти соответствие между уровнем сигнала и количественными показателями изучаемого параметра.

Поиск уравнений связи для различных региональных условий в целях гидрологического прогнозирования энергично ведется специалистами США и Канады. Эту работу считают настолько важной, что после завершения в 1986 г. съемки с Nimbus-7 для этих целей продолжали использовать микроволновые снимки, поступающие с американского военного метеорологического спутника DMSP, хотя их разрешение составляло всего 50 км. Для использования микроволновых радиометрических снимков в почвенных исследованиях первоочередную задачу представляет повышение их пространственного разрешения. Подготавливаемый европейский метеорологический спутник METOP должен давать такие снимки с разрешением 7 км. На применении микроволновой съемки базируется проектируемый европейский спутник SMOS для определения влажности почв и солености океанов.

Радиолокационные снимки, получаемые при активном методе съемки в радиодиапазоне (рисунок 40), фиксируют различия в отражении радиоизлучения, генерируемого радаром спутника.

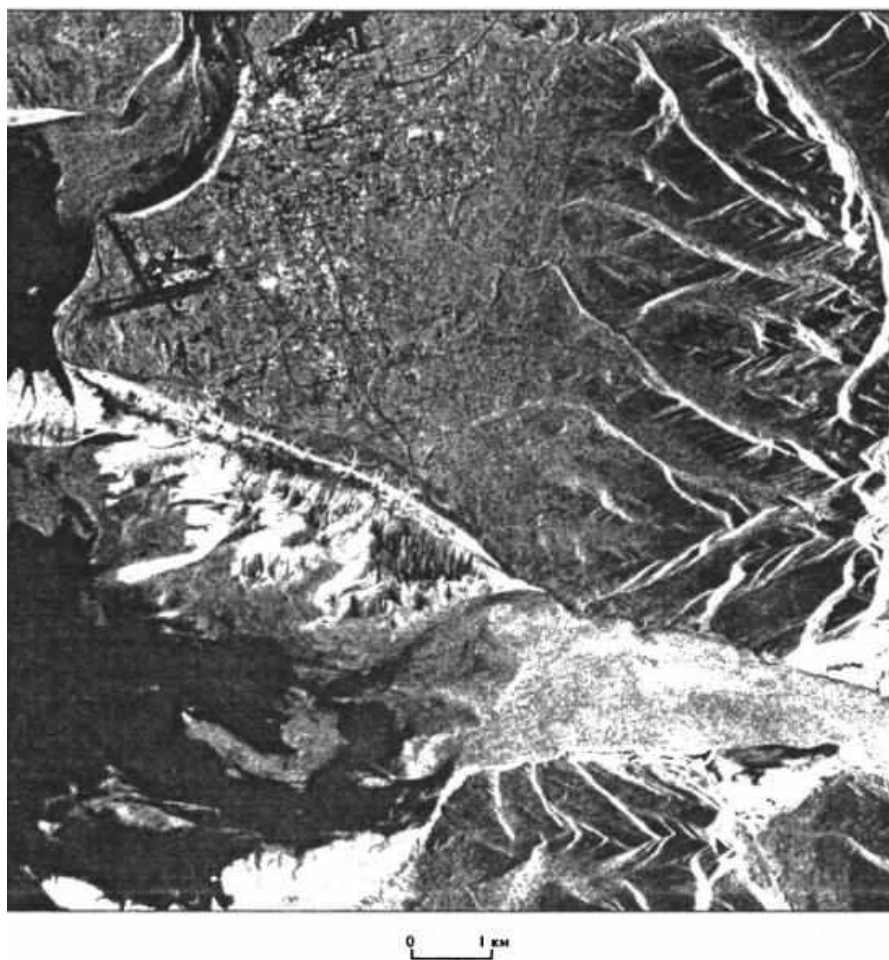


Рисунок 40 – Радиолокационный снимок SAR/ERS на район Аляски

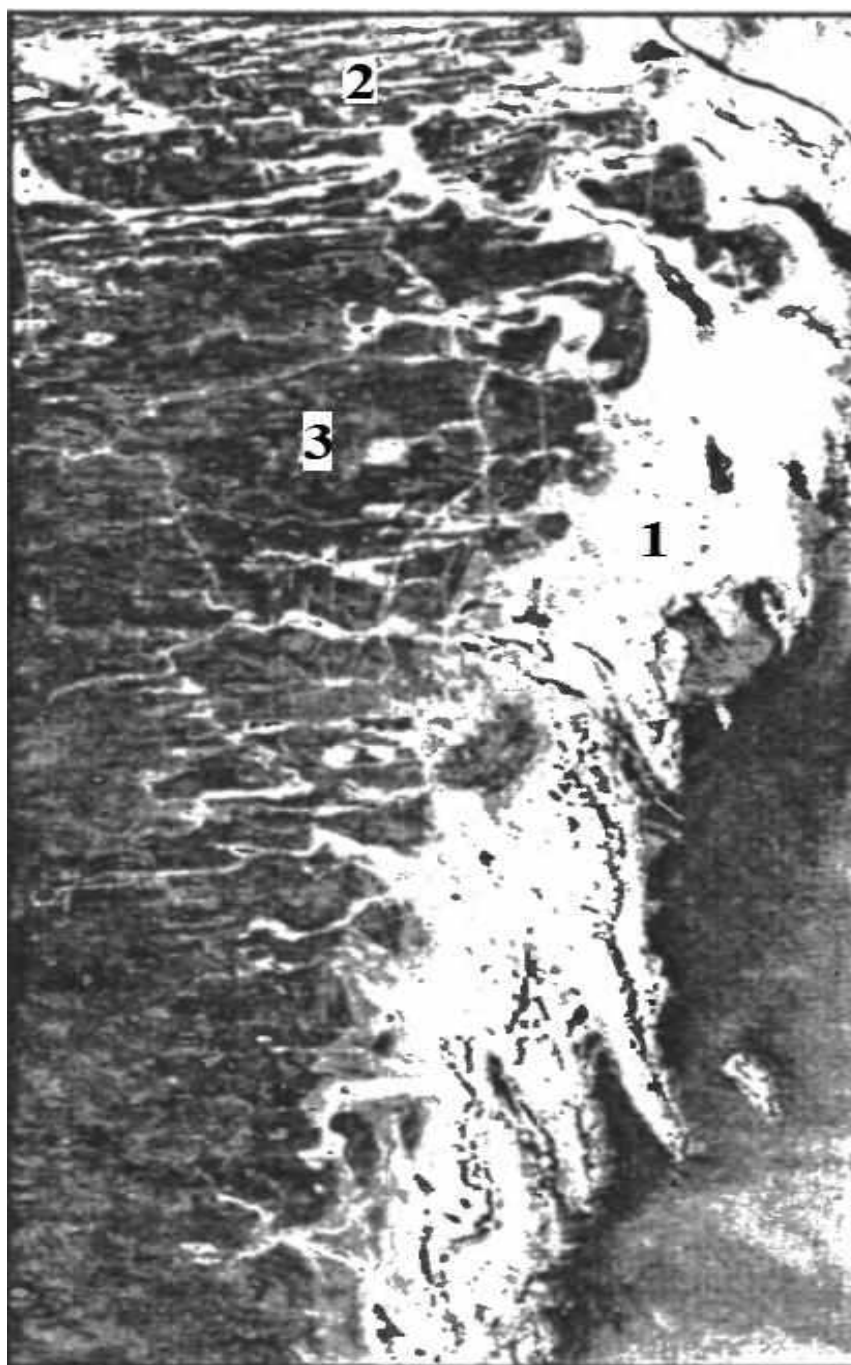
Эти различия зависят от шероховатости поверхности, то есть ее микрорельефа, структуры, растительного покрова, и от диэлектрических свойств. Значение диэлектрической постоянной для водной поверхности около 80, а для сухой почвы порядка 5. Влажная почва имеет более низкую диэлектрическую постоянную, чем открытая водная поверхность. Чем выше диэлектрическая постоянная, тем больше отражение и тем светлее тон изображения радиолокационного снимка. Особенно четко эта зависимость проявляется для сухих и слегка влажных почв. Однако для влажных и очень влажных почв эта зависимость ослабевает. Величина отраженного радиосигнала, как правило, характеризует влажность самого верхнего слоя почвы мощностью от 1 до 10 см; получение информации о содержании влаги на большей глубине возможно лишь в относительно сухой почве. Так, в

сухих песках Восточной Сахары радиолокационной съемкой с возвращаемого корабля Shuttle, как упоминалось, было зафиксировано погребенное русло Нила, что указывает на перспективность этого метода для гидрогеологических исследований [22].

На величину отражения радиосигнала, влияют неровности отражающей поверхности. Чем больше неровности (по сравнению с длиной радиоволны), тем сильнее отражение. И соответственно, чем больше длина волны радиоизлучения, тем более расчлененная поверхность выделится на снимках. Поскольку неровности, шероховатость поверхности суши определяются в основном растительностью, это свойство снимков обуславливает хорошее отображение на снимках некоторых ее типов, например зарослей тростника (рисунок 41).

В отличие от микроволновых радиометрических снимков, получаемых пассивным методом, разрешение радиолокационных снимков достаточно высокое – обычно порядка 20 м, что вполне достаточно для отображения деталей строения почвенного покрова.

Поэтому с точки зрения почвенных исследований радиолокационные снимки могут представлять интерес для количественной оценки влажности почв, дифференциации почвообразующих пород и механического состава почв, степени их агротехнической обработки (пахота, боронование и т.п.), а также для индикационных исследований почв через растительный покров. Важно, что снимки детально передают строение рельефа местности, формы микрорельефа, которые нередко определяют структуру почвенного покрова, его комплексность. Кроме того, применяемый в последние годы главным образом в гляциологических целях метод радаринтерферометрии, позволяющий с большой точностью определять изменения высоты поверхности, открывает возможность использования радиолокационной съемки для контроля за выполнением различных мелиоративных работ (планирование, террасирование поверхности), контроля за уровнем воды на заливаемых (рисовых) полях и т.п.



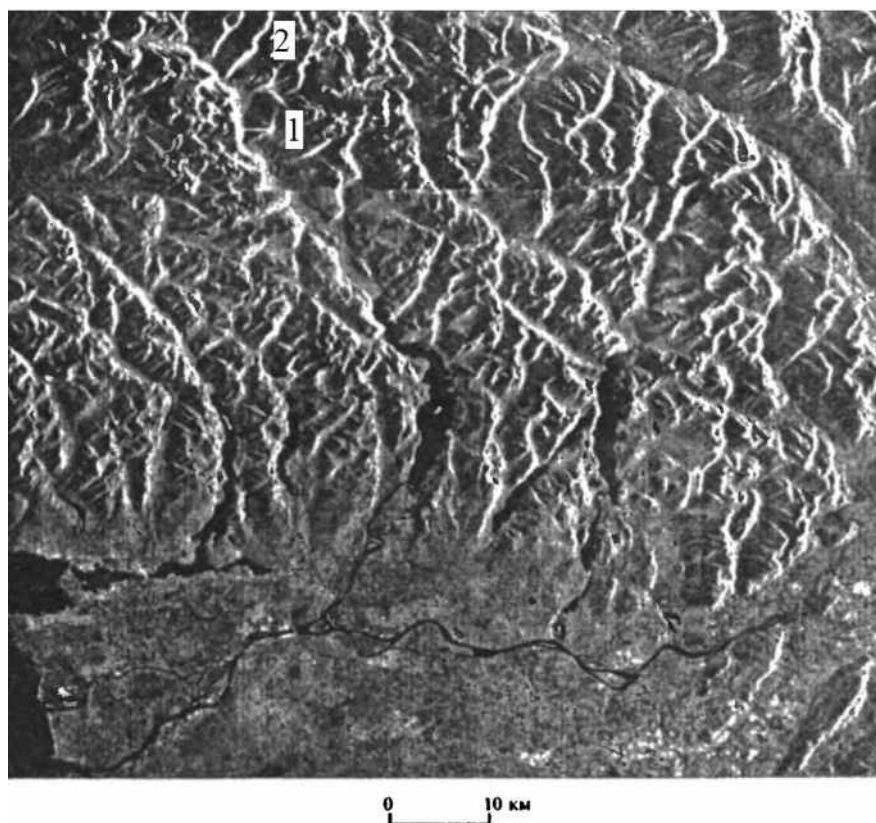
1 – тростниковая осушка; 2 – заросли тростника в понижениях ильменях;
3 – полупустынная сухостепная растительность.

Рисунок 41 – Отображение растительности (1) и (2) на радиолокационном снимке со спутника ERS между Бэровскими буграми на фоне (3) в районе Калмыцкого побережья Каспия

Особенности дешифрирования радиолокационных снимков определяются как этими отображаемыми характеристиками, необычными для снимков в других диапазонах, так и спецификой радиолокационного изображения, существенно отличающегося от снимков в видимом и тепловом диапазонах. На спутниках используются радары бокового обзора, радиолуч посылается под углом к поверхности порядка от 30° до 40° , поэтому при значительных уклонах земной поверхности, например в условиях горного рельефа, он попадает только на экспонированные к нему склоны, а на обратных образуются радиотени. Поскольку фиксация отраженного сигнала зависит от расстояния до лоцируемой поверхности, определяемого временем добегания луча, то нижняя и верхняя части склона могут оказаться почти на одинаковом расстоянии. Поэтому склон на изображении как бы сплющивается, а яркость его изображения увеличивается (эффект «радиодорожки») и возможно даже «опрокидывание» хребтов, когда гребень хребта оказывается зафиксированным на снимке ближе его подножия (рисунок 42).

Эти специфические искажения радиолокационного снимка при дешифрировании надо иметь в виду. Другая особенность радиолокационного изображения – его пятнистость, так называемые спекл-шумы, возникающие в результате сложного диффузного отражения радиолуча. При машинной обработке снимков спекл-шумы устраняют с помощью специальных алгоритмов фильтрации.

Радиолокационные снимки, получаемые при разных частотах излучения, то есть при генерировании радиосигналов с разными длинами волн, а также при разной поляризации излучения, позволяют более полно изучать структуру поверхности и извлекать информацию от подповерхностных горизонтов на различной глубине.



1 – система «световых радиодорожек»; 2 – система радиотеней.

Рисунок 42 – Отображение на радиолокационном снимке со спутника Radarsat горного рельефа Берегового хребта на западе Канады в районе Ванкувера.

К основным преимуществам снимков в радиодиапазоне, кроме независимости от погодных условий и времени суток, относятся, таким образом, возможность определения свойств поверхностных и подповерхностных горизонтов почв, а также возможность получения контрастного изображения оптически неконтрастных объектов, какими являются почвы, и обеспечение значительно лучшего разрешения по сравнению со снимками, получаемыми пассивными микроволновыми съемочными Системами [22].

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается особенность почвы как объекта дешифрирования?
- 2 Что такое дешифрирование?
- 3 Особенность дешифрирования аэрофотоснимков.
- 4 Как осуществляется дешифрирование космических снимков?
- 5 Что значит «генетическое» и «контурное» дешифрирование почв?
- 6 Назовите прямые признаки дешифрирования открытых почв.
- 7 Назовите спектральные признаки дешифрирования открытых почв.
- 8 Охарактеризуйте дешифрирование почв по косвенным признакам.
- 9 Охарактеризуйте дешифрирование почв с учетом временных признаков.
- 10 Сравните между собой особенности дешифрирования почв разных природных зон.

8 Государственный мониторинг земель – один из механизмов управления земельными ресурсами

В современных условиях информации земельного кадастра недостаточно для принятия управленческих решений в сфере землепользования. Поэтому помимо данных земельного кадастра как сведений, отражающих состояние земель, для выявления и изучения различных процессов, которым они подвержены, требуется дополнительная информация из земельно-информационной системы, задачей которой является исследование причин и динамики этих процессов. Государственный мониторинг земель представляет собой такую систему наблюдений за состоянием земель. Цель мониторинга земель – сбор данных, которые обеспечили контроль за их сохранением.

Объектами государственного мониторинга земель являются все земли Российской Федерации независимо от форм собственности, целевого назначения и вида использования.

Структурные компоненты системы государственного мониторинга земель соответствуют категориям земельного фонда по целевому назначению: мониторинг земель сельскохозяйственного назначения; земель поселений; земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, обеспечения космической деятельности; обороны, безопасности, иного специального назначения; земель особо охраняемых территорий и объектов; земель лесного фонда; земель водного фонда; земель запаса.

Задачами государственного мониторинга земель, как указано в Земельном кодексе Российской Федерации (ст. 67), являются:

- своевременное выявление изменений состояния земель, оценка этих изменений, прогноз и выработка рекомендаций о предупреждении и об устранении последствий негативных процессов;
- информационное обеспечение ведения государственного земельного кадастра, государственного земельного контроля за использованием и охраной земель, иных функций государственного и муниципального управления земельными ресурсами, а также землеустройства;
- обеспечение граждан информацией о состоянии окружающей среды в части состояния земель.

Мониторинг земель ведут разными методами и способами. Он включает систему натуральных наблюдений (экспедиционные, стационарные, комплексные фоновые, дистанционные) и автоматизированную систему (АИС), в которую входят: информационно-поисковая система (АИПС), система обработки данных (АСОД), система комплексной интерпретации данных (АСКИ), прогнознo-диагностическая система (АПДС) и система управления (АСУ).

Для различных оценок состояния отдельных категорий земель используют данные и материалы специализированных мониторингов отдельных компонентов окружающей среды, проводимых в рамках государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ).

Государственный мониторинг земель – многофункциональная подсистема, находящаяся в сложном взаимодействии с другими подсистемами ЕГСЭМ [25].

В системе государственного мониторинга земель выделяют следующие его подсистемы:

- правового режима земель – наблюдения за изменением границ и площадей административно-территориальных единиц, зон, земельных участков;

- использования земель – наблюдения за динамикой целевого назначения, разрешенного использования земельных участков, установленных ограничений и обременений;

- качества земель – наблюдения за изменением плодородия земель сельскохозяйственного назначения, мелиоративного состояния земель, экологического состояния земель всех категорий, включая следующие негативные процессы: подтопление и затопление, переувлажнение, заболачивание, эрозию, засоление, загрязнение земель токсичными веществами, опустынивание, нарушенность земель, зарастание сельскохозяйственных угодий кустарником и мелколесьем, захламливание земель промышленными и бытовыми отходами, вырубки и гари на землях лесного фонда, карст, сели и др.;

- экономического состояния земель – наблюдения за изменением налогооблагаемой, рыночной, залоговой и нормативной стоимости земельных участков, ставок земельного налога и арендной платы.

Для реализации этих задач мониторинг осуществляют поэтапно, предусматривая: систематические аэрокосмические и наземные съемки; инвентаризацию и анализ фондовых материалов; выбор и создание системы

полигонов, ключевых участков и маршрутов наблюдений; организацию базовых, периодических и оперативных наблюдений. Систематизация и обработка результатов этих этапов должны быть положены в основу прогноза изменений состояния и использования земель.

По результатам оценки состояния и использования земель составляют оперативные сводки, доклады, научные прогнозы и рекомендации, сопровождающиеся тематическими картами, диаграммами, таблицами, характеризующими динамику и направления развития изменений состояния и использования земель.

Следующий этап ведения государственного мониторинга земель связан с реализацией методов хранения, систематизации, оперативной обработки и выдачи информации. Основная задача этого этапа – организация оперативного предупреждения органов управления и контроля за состоянием и использованием земель, а также граждан о негативных изменениях состояния и использования земель.

Состав информационных ресурсов системы государственного мониторинга земель, информационные технологии и средства их обеспечения, защита информации и прав субъектов, участвующих в информационных процессах, регулируются Федеральным законом от 20 февраля 1995 г. «Об информации, информатизации и защите информации», а также иными нормативными и правовыми документами. Информационные ресурсы системы государственного мониторинга земель являются официальными, и их используют при регистрации права собственности на землю, ведении государственного земельного кадастра, землеустройстве, земельном контроле, планировании рационального использования земель, оценке земель и принятии управленческих решений по организации и эффективному использованию земельных ресурсов, выводе их из оборота, консервации и восстановлении деградированных и нарушенных земель, реабилитации загрязненных и санации биологически зараженных земель, определении штрафных санкций за нарушение правовых

норм землепользования, деградацию, загрязнение и биологическое заражение земель.

Информация, включаемая в базу данных государственного мониторинга земель, подлежит обязательному документированию, открыта и общедоступна, за исключением данных, отнесенных законодательством Российской Федерации к информации ограниченного доступа. Порядок предоставления документированной информации органам государственной исполнительной власти, органам местного самоуправления, физическим и юридическим лицам определяет Правительство РФ [25].

Документированную информацию мониторинга земель в установленном порядке вносят в государственный земельный кадастр.

В зависимости от целей наблюдаемой территории государственный мониторинг земель может быть федеральным, региональным и локальным. Государственный мониторинг земель осуществляют в соответствии с федеральными, региональными и местными программами.

Порядок осуществления государственного мониторинга земель устанавливает Правительство Российской Федерации.

Федеральный мониторинг земель ведут в пределах Государственной границы РФ; при этом проводят необходимые наблюдения за состоянием и использованием земель федеральной собственности, территорий регионов с критическим экологическим состоянием земель, значимым для национальной безопасности страны.

Региональный мониторинг земель осуществляют в пределах административных границ субъектов Российской Федерации, на территориях других административно-территориальных образований, значимых для субъектов Российской Федерации.

Локальный мониторинг земель проводят в границах административных районов, поселений, отдельных землепользований, территориальных зон, земельных участков с целью регулирования землепользования и земельных отношений.

Специально уполномоченные федеральные органы исполнительной власти и их территориальные органы разрабатывают и реализуют федеральные, региональные и местные целевые программы государственного мониторинга земель.

Органы местного самоуправления участвуют в разработке и реализации региональных программ, разрабатывают и реализуют муниципальные программы и мероприятия мониторинга земель. Кроме того, потенциально уполномоченные федеральные органы исполнительной власти и их территориальные органы участвуют в разработке и реализации иных государственных программ, планов, мероприятий, проектов, договоров и соглашений по природоохранным и другим проблемам в части мониторинга земель.

Согласно Положению о Федеральной службе земельного кадастра России, утвержденному Постановлением Правительства РФ от 11 января 2001 г., организацию и осуществление мониторинга ведут органы названной службы. Участие в мониторинге земель принимают и другие государственные органы: Министерство природных ресурсов РФ, Министерство сельского хозяйства РФ, Федеральная гидрометеорологическая служба, Госстрой РФ, соответствующие органы субъектов РФ.

В соответствии с Законом о мелиорации земель мониторинг мелиорированных земель, формируемый в виде систематических наблюдений за состоянием мелиорированных земель по их гидротехническим, техническим и иным объектам недвижимости, должен содержать сведения об экономических характеристиках земельных участков, особенно кадастровой стоимости объектов государственного кадастрового учета, в том числе земельных участков.

Федеральным законом «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения, предусматривающий проведение

почвенных, агрохимических, фитосанитарных и токсикологических обследований, также отнесен к государственному мониторингу земель.

Росземкадастр координирует работы, связанные с получением данных и сведений о негативных процессах и явлениях, влияющих на состояние и использование земель, выполняемые другими министерствами и ведомствами.

Государственный мониторинг земель ведется с соблюдением принципа совместимости данных, основанного на применении единых классификаторов, кодов, стандартных форматов данных нормативно-технической базы, систем координат, утвержденных Правительством РФ в установленном порядке.

Росземкадастр также анализирует материалы государственного мониторинга земель, другие данные и сведения, полученные от территориальных органов, и ежегодно представляет в Правительство РФ Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации. Данные об особо опасных процессах и явлениях доводят до сведения Правительства РФ незамедлительно.

Территориальные органы Росземкадастра по результатам ведения мониторинга земель предоставляют федеральному органу и в органы государственной власти субъектов Российской Федерации региональные доклады о состоянии земель, а при выявлении особо опасных процессов – оперативную сводку. Эти доклады доводят до органов управления с соответствующими предложениями по предотвращению и устранению негативных процессов на земле, используют для ведения земельного кадастра и осуществления государственного контроля за использованием и охраной земель [25].

Юридические и физические лица, связанные с производственной и иной деятельностью, включая проектирование, размещение, строительство и ввод в эксплуатацию объектов, а также использование земель и восстановление их состояния способами и методами, исключаящими

негативные воздействия на земли (уничтожение почвенного покрова, деградация и нарушение земель, зарастание сельскохозяйственных угодий кустарником, мелколесьем и сорными растениями, загрязнение земель пестицидами, тяжелыми металлами, радионуклидами и другими токсичными и вредными веществами, захламление земель отходами производства и потребления и иные негативные процессы), обязаны:

- участвовать в разработке и реализации мероприятий по мониторингу земель;

- вносить в соответствующие государственные органы исполнительной власти и органы местного самоуправления предложения о финансировании работ по оценке и прогнозу изменений состояния и использования земель.

Кроме того, собственники, постоянные и временные пользователи земли (арендаторы) независимо от ведомственной подчиненности обязаны изучать и учитывать находящиеся в их владении земельные участки, знать их природные и хозяйственные свойства, особенности правового режима, обладать документами, подтверждающими их права на землю и обязанности, а также права на пользование чужими участками (сервитуты). Владельцы гидротехнических сооружений и каналов (оросительных сетей), размещенных в пределах обслуживаемых земельных угодий, обязаны вести наблюдение за их сохранностью и за исполнением требований режима охранных и защитных зон при этих сооружениях.

Пользователи земель обязаны также регулярно отчитываться о наличии и качественном состоянии своих земель в соответствии с правилами ведения мониторинга, установленными федеральными нормативными правовыми актами соответствующих субъектов РФ.

Независимо от этого они обязаны предоставить внеочередную информацию о чрезвычайных и неординарных событиях, существенно отражающихся на состоянии земель, их хозяйственном использовании и правовом режиме. За искажение информации виновные несут ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Мониторинг земель осуществляют за счет средств федерального бюджета, бюджетов субъектов Федерации и средств специальных денежных фондов.

Средства федерального бюджета расходуют на реализацию федеральных и крупных целевых региональных программ по мониторингу земель и охране почв, бюджетов субъектов Федерации – на Реализацию аналогичных региональных программ [25].

Полученные и зафиксированные с помощью документов мониторинга объективные материалы о состоянии земель и окружающей их природной среды служат правовым основанием для принятия необходимых управленческих решений компетентными государственными органами, ответственными за правильное использование земель и их охрану.

Проводят мониторинг, исходя из единой системы показателей на основе методических и нормативно-технических документов, утверждаемых Федеральной службой земельного кадастра России по согласованию с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти.

Информацию при осуществлении мониторинга можно получать, используя:

- дистанционное зондирование (съемки и наблюдения с космических аппаратов, самолетов, с помощью средств малой авиации и других летательных аппаратов);
- сеть постоянно действующих полигонов, эталонных и иных участков, межевых знаков и т.д.;
- наземные съемки, наблюдения и обследования (сплошные и выборочные);
- соответствующие фонды данных.

Съемки, наблюдения и обследования, осуществляемые в ходе проведения мониторинга, в зависимости от срока и периодичности проведения делятся:

- на базовые (проводят для получения данных о состоянии земель на момент начала ведения мониторинга);
- периодические (проводят для получения данных о состоянии земель за определенный период – раз в 3 года и более);
- оперативные (проводят для получения данных о состоянии земель на текущий момент).

Федеральная служба земельного кадастра России, ее территориальные органы и организации осуществляют мониторинг с использованием автоматизированной информационной системы, функционирующей во взаимодействии с автоматизированными информационными системами органов государственной власти и органов местного самоуправления.

Первичные данные, получаемые при непосредственных наблюдениях за состоянием земельных угодий, полей, участков, обобщают в целом, а также по отдельным природным комплексам. Собранные путем мониторинга материалы, выработанные рекомендации (природоохранными, сельскохозяйственными, санитарно-эпидемиологическими, водохозяйственными, геолого-разведочными, лесохозяйственными, землеустроительными, а также научными и проектными организациями) представляют сведения для органов земельного кадастра и для принятия решений органами контроля в области использования и охраны земель.

Работы по мониторингу земель были начаты, и проводят их в соответствии с Государственной программой мониторинга земель Российской Федерации на 1993 – 1995 гг., утвержденной постановлением Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 5 февраля 1993 г. и разработанной в развитие постановления Совета Министров РСФСР от 18 января 1991 г. «О республиканской программе проведения земельной реформы на территории РСФСР» и постановления Правительства Российской Федерации от 15 июля 1992 г. «О мониторинге земель».

На основании этих постановлений был издан ряд приказов Комитета Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству (с мая

2000 г. – Росземкадастр) по организации ведения мониторинга земель с утвержденным перечнем основных мероприятий, рекомендуемых для региональных программ, в связи с чем в большинстве субъектов Российской Федерации были разработаны и приняты свои программы проведения мониторинга земель.

Ведение государственного мониторинга земель связано с реализацией методов хранения, систематизации, оперативной обработки и выдачи информации. Основная задача этого этапа – организация оперативного предупреждения органов управления контроля за состоянием и использованием земель о негативных изменениях в состоянии и использовании земель [25].

При осуществлении базового мониторинга, фиксирующего исходное современное состояние и использование земель, специалистами Росземкадастра составлена карта экологического районирования земель России в масштабе 1 : 8 000 000.

На территории субъектов Российской Федерации периодически проводят инвентаризацию земель и выборочные обследования, результаты которых позволяют отметить тенденцию к ухудшению состояния и использования земель.

По результатам анализа данных государственной отчетности установлено, что за последние 10 лет отмечены существенные изменения площадей земель сельскохозяйственного назначения, запаса и лесного фонда.

Качество земель продолжает ухудшаться, возрастает негативное воздействие на земли, приводящее к интенсивному проявлению процессов деградации и загрязнения земель, снижению их продуктивности и нарушению экологического состояния.

На территории большинства субъектов Российской Федерации из-за недостаточного финансирования работ по мониторингу земель или его отсутствия динамику и интенсивность проявления таких опасных процессов, как эрозия почв, подтопление земель, опустынивание, зарастание

сельскохозяйственных угодий кустарником и мелколесьем, и других негативных процессов на землях практически не изучали.

Отсутствие такой информации фактически не позволяет предоставить необходимые достоверные сведения и данные для ведения государственного земельного кадастра, выполнения земельно-оценочных работ с учетом изменений качества земель, планировать и реализовывать мероприятия по предупреждению и устранению негативных воздействий на землях различных категорий и обеспечить рациональное использование и охрану земель от деградации, разрушения, загрязнения и захламления.

В целях предупреждения и устранения негативных воздействий и процессов на земельные ресурсы, вызванных продолжающимся интенсивным и нерациональным использованием земельного фонда России, минимизации разрушения почвенного покрова при разведке и добыче полезных ископаемых, строительстве и иной хозяйственной деятельности, получения объективной и своевременной информации для ведения государственного земельного кадастра, включая учет земель, осуществления государственного земельного контроля, землеустройства, планирования и реализации мероприятий, связанных с воздействием на земли, необходимы дальнейшее совершенствование многоуровневой системы государственного мониторинга земель и обеспечение его функционирования на землях всех категорий [25].

Контрольные вопросы

- 1 Что представляет собой государственный мониторинг земель? Назовите его цель и задачи.
- 2 Охарактеризуйте подсистемы государственного мониторинга земель.
- 3 Дайте характеристику федеральному, региональному и локальному уровням мониторинга.
- 4 Органы, принимающие участие в государственном мониторинге земель.
- 5 Каким образом осуществляется государственный мониторинг земель?

9 Организация почвенного экологического мониторинга в РФ

Обеспечение качества природной среды, влияющей на состояние здоровья населения, – задача государственного значения в Российской Федерации. Выполнение ее государством гарантируется Конституцией Российской Федерации (1993), Земельным кодексом РФ (1991), Водным кодексом РФ (1995), Лесным кодексом РФ (1997). Российское законодательство регламентирует проведение оценки воздействия на окружающую среду любых видов практической деятельности Федеральными законами «Об охране атмосферного воздуха» (1990), «Об охране окружающей природной среды» (1992), «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (1994), «Об особо охраняемых природных территориях» (1995), «Об экологической экспертизе» (1996), «О радиационной безопасности населения» (1996), «О недрах» (1992), «О мелиорации земель» (1996), «О землеустройстве» (2001), «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» (2001), «Об охране окружающей среды» (2002), а также Указами Президента РФ «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» (1994), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1991), «О федеральных природных ресурсах» (1993), «Об усилении государственного контроля за использованием и охраной земель при проведении земельной реформы» (1993), «О декларации безопасности промышленных объектов РФ» (1995).

Функции природоохранных служб регламентируются в десятках постановлений правительства и нормативных документов Министерства природных ресурсов, например, «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы», «Положение об оценке воздействия на окружающую среду в Российской

Федерации», «Руководство по экологической экспертизе предпроектной и проектной документации», «Инструкция по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности».

В нашей стране (в республике РСФСР бывшего Советского Союза) начало организации экологического мониторинга было положено в 1972 году постановлением Совета Министров СССР о создании Общегосударственной системы наблюдения и контроля состояния и уровня загрязнения природной среды (ОГКНСК). С 1978 года задача наблюдения, контроля и прогноза состояния окружающей среды была возложена на созданный в то время Госкомитет по метеорологии и контролю природной среды. В 1988 году он был преобразован в Госкомитет по охране природы.

В настоящее время задача обеспечения качества природной среды и состояния природных ресурсов в Российской Федерации возлагается на Департамент по охране окружающей среды Министерства природных ресурсов (МПР РФ). Он действует в контакте с другим департаментом МПР – Департаментом по использованию природных ресурсов.

Задачи охраны природы выполняют также различные ведомства в соответствии со специфическим характером их деятельности: Гидромет, Минсельхоз, Росземкадастр, Минтранс, Минэнерго, Минобороны, Минатом, Минздрав, Минпромнауки, Госстрой, Госгортехнадзор, Госатомнадзор, Росавиакосмос, Рослесинфорг, Росгеолфонд, РАСХН, РАН.

В Российской Федерации (республике бывшего Советского Союза) контроль за состоянием окружающей среды начал проводиться в 30-е годы прошлого столетия и направлен был, прежде всего, на контроль состояния поверхностных вод, рек, водоемов, что было обусловлено актуальностью проблемы водопотребления. В 50-е годы на базе разветвленной сети Гидрометеослужбы СССР были организованы наблюдения за радиоактивным загрязнением природной среды в связи с испытанием ядерного оружия в воздухе, на земле и под землей. Контроль загрязнения атмосферы был начат в отдельных пунктах с 1963 года.

Первый этап организации контроля загрязнения всех природных сред относится к 1972 году, когда была создана Общегосударственная система наблюдения и контроля состояния и уровня загрязнения природной среды (ОГСНК).

С 1994 года на базе ОГСНК сформирована Единая государственная система экологического мониторинга России (ЕГСЭМ).

Цель ЕГСЭМ – выполнение государственной (национальной) задачи обеспечения безопасности и качества окружающей среды, разработка стратегии и тактики организации природоохранной службы, гарантирующей получение объективной информации о состоянии окружающей среды.

Задачи ЕГСЭМ направлены на разработку и научно-техническое обоснование программы наблюдений, на создание организационных структур, обеспечивающих проведение единой политики в области защиты окружающей среды, создание подразделений, выполняющих природоохранные наблюдения, совершенствование организационного, правового, нормативного, информационного, программно-математического, финансового, аппаратно-технического, метрологического, материально-технического обеспечения функционирования ЕГСЭМ.

Конкретные задачи ЕГСЭМ состоят в следующем:

- разработка единой научно-технической политики в области экологии, разработка программ наблюдений за состоянием окружающей среды;
- организация наблюдений за состоянием окружающей среды, что включает разработку перечня показателей физического, химического, биологического состояния окружающей среды, регулярное их измерение, оценку уровней полученных показателей, оценку их изменения во времени и в пространстве; все это в целом составляет научно-техническое обеспечение системы наблюдений за состоянием окружающей среды;
- обеспечение достоверности и сопоставимости данных наблюдений (обеспечение прецизионных средств измерения, что особенно важно,

например, при загрязнении природной среды радиоактивными и сильно действующими отравляющими веществами при авариях, катастрофах);

- создание экологической информационной системы (обеспечение доступности интегрированной экологической информации о состоянии окружающей среды для разных потребителей, в том числе для населения и административного руководства различных ведомств);

- создание нормативной базы ЕГСЭМ;

- создание информационных связей между подсистемами ЕГСЭМ;

- организация хранения данных, создание специальных банков данных;

- гармонизация банков и баз данных экологической информации с международными эколого-информационными системами;

- выявление источников и факторов загрязнения;

- мониторинг источников антропогенного воздействия на окружающую среду;

- мониторинг загрязнения биотических и абиотических компонентов окружающей среды;

- оценка экологического и экономического ущерба, нанесенного загрязнением природной среды;

- прогноз загрязнения состояния окружающей среды, антропогенного воздействия на нее, откликов экосистемы и здоровья населения на изменение окружающей среды.

Оценка качества окружающей среды при проведении экологического мониторинга невозможна без нормативов. В области охраны окружающей среды в нашей стране действуют принятые в бывшем СССР государственные стандарты (ГОСТы) и СанПиНы (государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы). Они являются обязательными для исполнения соответствующими организациями.

В перечне Государственных стандартов выделен раздел «Охрана природы», который включает раздел «Охрана и рациональное использование почв». В отдельных группах документов описаны термины (определения,

классификация), показатели качества природной среды, параметры загрязнения и интенсивности использования ресурсов, правила охраны природы и рационального природопользования, методы определения этих параметров, требования к методам их определения и пр. Нормативы делятся на нормативы качества природных сред (ПДК химических веществ в природных средах) и нормативы допустимого воздействия (допустимые нагрузки, допустимые уровни содержания веществ в отходах и пр.).

Кроме этого, существуют ведомственные и отраслевые стандарты (ОСТы, ОДК, ОБУВ и др.), которые также содержат критерии, которым должен соответствовать охраняемый природный объект. Эти нормативы природоохранного направления имеют рекомендательный характер.

В 2002 году постановлением Правительства Российской Федерации утверждено Положение об осуществлении государственного мониторинга земель. В соответствии с дополненным Земельным кодексом Российской Федерации (2002) мониторинг земель – экологически важная государственная акция. Нарастающие антропогенные нагрузки на земли, с одной стороны, и существенные изменения структуры землепользования в период реформирования земельных отношений, с другой, требуют проведения системы постоянных наблюдений за использованием и состоянием земель.

Принятие решений, обеспечивающих защиту населения от неблагоприятного изменения состояния окружающей среды, определяется срочностью информации, получаемой природоохранными службами. По этому свойству информация о состоянии окружающей среды делится на категории:

- 1) экстренная информация содержит сведения о резком изменении уровня загрязнения окружающей среды, вызванном нарушением режима работы предприятий или неблагоприятными гидрометеоусловиями, которые требуют срочного принятия решений по снижению или прекращению

выбросов и сбросов; эти данные немедленно сообщаются местным и центральным органам;

2) оперативная информация охватывает месячный период наблюдений, обрабатывается на местах и в центральных природоохранных органах, сообщается местным и центральным органам;

3) режимная информация охватывает годовой период наблюдений и отражает общее состояние, позволяющее изучить влияние загрязнения на заболеваемость людей, оценить ущерб, нанесенный загрязнением, планировать размещение новых и реконструкцию действующих предприятий, оценивать фоновое загрязнение природной среды.

Сбор, передача и обобщение информации о состоянии окружающей среды в соответствии с организацией системы национального мониторинга проводится на локальном, региональном, федеральном уровнях.

Организация мониторинга состояния воздуха, вод, почв имеет многоуровневую структуру, аналогичную структуре служб Гидромета. Многоуровневая организация государственной службы экологического мониторинга соответствует поставленным задачам. Она предусматривает последовательность получения и обобщения информации:

1) региональные станции (РС) наблюдений ведут непосредственные наблюдения, обобщают полученные данные на локальном уровне;

2) региональные центры обобщают, анализируют материалы, составляют местные прогнозы и дают оценку состояния окружающей среды на территории региона;

3) на федеральном уровне дают оценку и прогноз состояния окружающей среды в государственном масштабе.

Каждый вид мониторинга имеет свой оперативный уровень, способный обобщать первичную информацию, давать оценку состояния среды и готовить рекомендации по ее защите.

Региональная станция (РС) – основное оперативное звено мониторинга. В основе организации ее работы лежит ландшафтно-геохимический подход.

Объект наблюдения на этом уровне – водосборный бассейн. РС должна оценивать состояние водосборного бассейна, типичного для данной физико-географической зоны, на основе регулярных наблюдений на стационарных биосферных пикетах (БП), размещенных в типичных ландшафтах региона, в представительных биогеоценозах. В качестве интегральных параметров экологического состояния РС могут служить структура земельных угодий, площади почвенно-растительного покрова, горизонтальная и вертикальная структура биогеоценоза, его пространственная неоднородность. Преимущества бассейнового подхода и использования РС, как основного оперативного звена, перед другими территориальными единицами – наличие определенных границ водосборного бассейна, аналогичное строение бассейнов всех масштабов, однонаправленность потоков вещества и энергии, что делает возможными и облегчает балансовые расчеты. Функциональная структура РС предполагает наличие трех комплексов: наблюдательного, лабораторно-аналитического и вспомогательного. Наблюдательный блок состоит из сети стационарных пикетов, которые охватывают основные типы ландшафта экорегиона, где проводится сбор проб, подлежащих анализу. Лабораторно-аналитический блок обеспечивает анализ проб почв, вод, воздуха. Задача вспомогательного блока – обработка экспериментального материала, подготовка его для передачи на базовую станцию.

Региональные станции действуют как на территориях, в минимальной степени подверженных воздействию человека, так и на существенно измененных им. Если последние представляют собой загрязненные территории, то при размещении пикетов принимается во внимание не только структура ландшафта, но и расстояние от источников загрязнения. Чем ближе к источнику загрязнения, тем больше плотность точек наблюдения.

Базовые станции (БС) обобщают информацию, поступающую от подчиненных РС, дают оценку состояния окружающей среды на территории региона и поставляют данные в национальный центр мониторинга (НЦ), где оценивается состояние окружающей среды на территории всей страны.

Базовые станции не только обобщают информацию региональных станций, но могут проводить и собственные наблюдения, например, самолетный и космический мониторинг, результаты которого используются для обобщения данных об экологическом состоянии региона.

Предполагается регулярное проведение различных видов мониторинга: инвентаризация эродированных, техногенно-нарушенных, заболоченных, опустыненных почв; мониторинг почв по их производительной способности (бонитировочный); агрохимический почвенный мониторинг, санитарно-гигиенический почвенный мониторинг, ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг.

Глобальный мониторинг проводится вне системы национального мониторинга, направлен на контроль общепланетарного загрязнения [4].

Контрольные вопросы

- 1 Охарактеризуйте программы МАБ, ЮНЕП, ЕМЕП, ЕЭС.
- 2 Что рассматривает Киотский протокол?
- 3 На каких законах основывается обеспечение качества природной среды влияющей на состояние здоровья населения?
- 4 Перечислите задачи ЕГСЭМ.
- 5 Что такое ГОСТы, ОСТы, ОДК, ОБУВ, СанПиНы?
- 6 На какие категории делится информация о состоянии окружающей среды?
- 7 Охарактеризуйте программу «Устойчивые Нидерланды».

10 Математическое моделирование в почвенно-экологическом мониторинге

Эта глава посвящена обсуждению роли математического моделирования в решении проблем почвенно-экологического мониторинга. Модели представляют собой упрощение реальных систем, они никогда не описывают поведение экосистем в полной мере и не могут ответить на все вопросы, которые нам бы хотелось задать. Поэтому первым обязательным шагом моделирования является точное формулирование целей. Общие цели моделирования удачно сформулированы Э.Дж. Райкилом мл. (1987).

Первая цель – изучение. Модель служит для формирования концепции проблемы и возможных путей ее решения. Главная задача – выявление и изучение факторов, оказывающих заметное влияние на поведение системы.

Вторая – объяснение. Главная задача – определить структурные и функциональные зависимости между компонентами системы, которые объясняют характер внутрисистемных связей и формируют поведение экосистемы.

Третья общая цель моделирования, заключающаяся в планировании поведения системы, получила название проектирование в отличие от прогнозирования, потому что речь идет не о точных количественных оценках переменных системы, а только о ее качественных характеристиках.

Четвертая цель – прогнозирование. Задача состоит в оценке будущих значений переменных, описывающих систему, и изменений этих величин под влиянием внешних воздействий. Главное внимание уделяется точности и практической полезности прогнозов.

Перечисленные общие цели моделирования важны при решении проблем почвенно-экологического мониторинга. Решение этих проблем возможно на методологической основе системного анализа. Использование системного анализа вызвано сложностью исследуемого объекта. Вопреки

сложившемуся у многих экологов мнению системный анализ – это не математический прием и даже не группа математических приемов, это широко задуманная стратегия исследований, структурная и логическая организация данных о системе в виде модели с ее последующей разносторонней проверкой и исследованием аналитическими методами и на ЭВМ [8].

Один из важных этапов системного анализа экосистем – построение концептуально-балансовых моделей круговорота веществ и энергии. Термином концептуальные модели подчеркивается, что они разрабатываются в рамках вполне определенных представлений (концепций) о движении и трансформации вещества при протекании биотических и абиотических процессов. К первым, прежде всего, относится создание первичной продукции автотрофами и связанное с ним потребление азота и элементов минерального питания, разрушение первичной продукции гетеротрофами в трофических цепях с освобождением азота и минеральных элементов, возврат ассимилированного С в виде CO_2 в атмосферу. Абиотические процессы – водная, ветровая миграция, делювиальный перенос и др. Термин балансовые модели свидетельствует о количественном описании запасов и потоков вещества и энергии в экосистемах.

Концептуально-балансовая модель представляет собой формализованный и систематизированный вариант описания экосистем, призванный служить ясным обобщением и в то же время достаточно полным выражением накопленных знаний в рамках определенной научной концепции. При их построении, как правило, выявляются недостаточно изученные звенья круговорота веществ в экосистемах, что позволяет использовать модели как эффективный инструмент планирования исследований. Основы методологии построения концептуально-балансовых моделей заложены в работах Г. Одума (1961), Дж. Форрестера (1961), А.А. Ляпунова и С.В. Яблонского (1963), А.А. Ляпунова и А.А. Титляновой (1971). К настоящему времени накоплен ряд концептуально-балансовых моделей наземных экосистем

разной степени детализации. Наиболее полные (с охватом всех трофических цепей) концептуально-балансовые модели круговорота органического вещества в луговой степи на типичном черноземе и типичной мохово-кустарничковой тундре построены Г.Г. Гильмановым и Н.И. Базилевич (1983, 1986). Такие модели, несмотря на их схематичность и известную условность, могут служить эталоном – точкой отсчета для мониторинга окружающей среды, т.е. для регистрации тех изменений, к которым приводит антропогенное воздействие.

Недостатком концептуально-балансовых моделей является их статический характер, они отражают только среднюю картину круговорота веществ в экосистеме за определенный период времени. Однако существует целый ряд проблем, связанных с изучением, прогнозированием и управлением экосистемами, которые могут быть решены только на основе динамического моделирования. Концептуально-балансовые модели служат этапом на пути построения динамических моделей круговорота веществ в экосистемах [8].

В основе динамических моделей лежат законы сохранения вещества и энергии. Однако для построения таких моделей их явно недостаточно. Необходимы еще соотношения, определяющие интенсивности потоков вещества и энергии в зависимости от состояния компонентов системы и окружающей среды. Обычно количественные связи в динамических моделях биогеохимических циклов задаются в виде систем дифференциальных уравнений

$$x_i = f_i(X, V), \quad (26)$$

где $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ – множество переменных состояния системы;

n – число компонентов системы;

$V = \{v_1, \dots, v_k\}$ – множество факторов окружающей среды;

$F = \{f_1, \dots, f_n\}$ – множество функций скоростей потоков вещества в экосистеме.

В зависимости от степени детализации описания системы динамические модели биогеохимических циклов можно подразделить на два класса: детальные (многокомпонентные) и обобщенные (малокомпонентные).

Достоинство обобщенных моделей с высокой степенью агрегирования переменных заключается в их относительной простоте, наглядности представления результатов и возможности, как правило, получить аналитическое решение. Эти модели весьма эффективны при изучении долговременной динамики экосистем (десятки и сотни лет). При изучении кратковременной динамики экосистем (годы, сезоны, месяцы, декады, сутки) целесообразно использовать многокомпонентные имитационные модели.

Математическое моделирование биогеохимических циклов уже имеет свою историю. Ее начало было положено в тридцатые годы учеником и последователем В.И. Вернадского – В.А. Костицыным. Он был инициатором применения математических методов к анализу биосферных процессов и предложил первую математическую модель биогеохимических циклов. Книга В.А. Костицына «Эволюция атмосферы» является классической работой в области системного анализа биосферы. К настоящему времени разработано множество моделей биогеохимических циклов различных элементов. Это модели разного уровня (глобальные, региональные, биогеоценоотические).

Рассмотрим примеры. Они выбирались таким образом, чтобы были представлены модели разных классов и уровней.

Достаточно типичным представителем малокомпонентных моделей биогеохимических циклов может служить модель глобального круговорота углерода в системе «атмосфера – растение – почва».

Она построена в целях исследования поведения системы «атмосфера – растения – почва» при различных антропогенных воздействиях. Длительность процессов, рассматриваемых в модели, составляет десятки и сотни лет и намного меньше времени геологического круговорота,

интенсивность которого невелика (0,1 % от интенсивности биологического круговорота). Поэтому можно считать, что в отсутствии возмущающих факторов количество углерода в системе не меняется. В модели выбрана высокая степень агрегирования переменных. Система представлена в виде только двух подсистем: травяной и лесной. Качественная структура модели представлена на рисунке 43. Модель описывается системой дифференциальных уравнений балансового типа [8].



Рисунок 43 – Схема круговорота углерода в модели системы атмосфера – растения – почва (Моисеев и др., 1985)

Схема воздействий, рассматриваемых в модели, изображена на рисунке 44. На схеме знак у стрелки указывает направление изменения переменной, к которой адресована стрелка, при увеличении той переменной или при действии того фактора, откуда стрелка исходит. Машинные эксперименты с моделью позволили определить способность системы «атмосфера – растения – почва» ослаблять различные воздействия и характеристики степени и

скорости компенсации воздействий. Например, при имитации отклика системы на мгновенное увеличение количества CO_2 в атмосфере на 10 % по отношению к современному значению показано, что лесная подсистема обладает большей способностью поглощать избыточный CO_2 , чем травяная. Лесная экосистема способна поглотить от 56 % до 74 % всего выброса, а травяная – от 35 % до 57 %. Удаление избыточного CO_2 в лесной системе происходит быстрее, чем в травяной. Время удаления половины выброса составляет для лесной системы от 10 до 16 лет, а для травяной – от 60 до 90 лет.

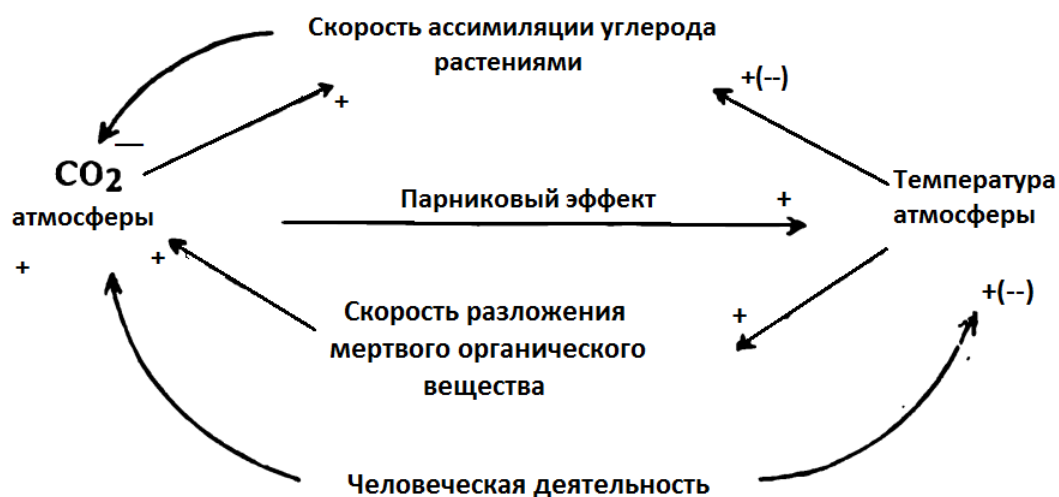


Рисунок 44 – Диаграмма причинно-следственных связей в модели круговорота углерода (Моисеев и др. 1985)

Как известно, биогеохимические циклы углерода, азота, фосфора и серы взаимосвязаны. В связи с этим наибольший интерес представляют модели, описывающие взаимодействия биогеохимических циклов. Поэтому для представления многокомпонентных имитационных моделей биогеохимических циклов выбрана модель ФЕНИКС, разработанная с целью оценки взаимодействия циклов С и N. Растительные компоненты в модели представлены живыми побегами, живыми корнями, ветошью и подстилкой. Микробные разделены на две группы: бактерии и грибы. В свою очередь,

мертвые растительные и микробные остатки делятся на метаболическую и структурную фракции в зависимости от отношения углерода к азоту в них. Предполагается, что структурная фракция имеет $C/N = 150$ для растительных остатков и 30 для микробов, а метаболическая соответственно 5 и 3. Органическое вещество почвы охарактеризовано двумя фракциями: мобильной (время оборота 20 лет) и стойкой (время оборота 500 лет). Минеральный азот почвы представлен аммонийной и нитратной формами. Внешние переменные модели: атмосферные осадки, влажность и температура почвы, минимальная ежедневная температура воздуха и температура воздуха в слое растительного покрова.

Скорости описываемых в модели потоков углерода и азота определены через максимальную скорость и серию безразмерных редуцирующих факторов. Каждый фактор принимает значение от 0 до 1 в зависимости от температуры, влажности, отношения C/N и возраста. Поглощение азота растениями в зависимости от концентрации минерального азота у поверхности корня описано функцией Михаэлиса-Ментен, при этом учтено также влияние на этот процесс температуры, влажности и отношения C/N в корнях. Рост грибов и бактерий включен в модель явным образом в соответствии с кинетикой Михаэлиса-Ментен и соотношения C/N у самих микроорганизмов [8].

В модели выбран временной масштаб 1 сутки. Она хорошо предсказывает краткосрочные изменения системы (в течение месяца или года) при внешних возмущениях (внесение удобрений, обработка почвы). На основании исследования модели было показано, что в травяных экосистемах через микробиальную массу оборачивается в год почти в 3 раза больше азота, чем через фитомассу.

Обширный круг проблем почвенно-экологического мониторинга связан с подкислением почв кислыми осадками, загрязнением тяжелыми металлами, радионуклидами и остатками агрохимикатов, засолением. Для их решения к настоящему времени накоплен определенный опыт построения

математических моделей полезных как в теоретическом, так и практическом отношении.

Эти модели выражают закономерности физико-химических процессов в почве. В последние годы опубликовано несколько монографий, в которых обстоятельно рассмотрены вопросы математического моделирования физико-химических процессов в почвах и ландшафтах. Поэтому мы не будем останавливаться на обсуждении этих моделей, а перейдем к рассмотрению одной из центральных проблем мониторинга природной среды – анализу устойчивости экосистем. В связи с усиливающейся антропогенной нагрузкой в условиях, когда многие экосистемы подводятся к рубежам, за которыми следуют серьезные изменения их строения и функционирования, вопросы о том, в чем состоят эти изменения, где предел допустимых нагрузок и каковы будут последующие преобразованные состояния экосистем, приобретают первостепенное значение.

Анализ устойчивости экологических систем в рамках математических моделей является далеко не решенной задачей. Мы остановимся на рассмотрении одного из перспективных направлений, связанного с теорией катастроф. Теория катастроф оформилась как научное направление сорок лет назад. В ее основе лежит теория гладких отображений Уитни и теория бифуркаций динамических систем Пуанкаре-Андропова [8].

Теория особенностей – это грандиозное обобщение исследований функций на максимум и минимум. В теории Уитни функции заменены отображениями, т.е. наборами нескольких функций нескольких переменных.

Термин «бифуркация» означает раздвоение и употребляется для обозначения всевозможных качественных перестроек различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят.

Катастрофами называют скачкообразные изменения, возникающие в виде ответа системы на плавное изменение параметров.

Теория катастроф позволяет решать задачи, возникающие в самых разных областях науки и техники, связанные с тем, что устойчивое

равновесие при непрерывном изменении параметров системы может стать неустойчивым, а непрерывный процесс с течением времени может стать разрывным. Она представляет собой мощный инструмент для анализа качественного поведения систем, в том числе и экологических.

Заметим, что линейные системы лишены таких свойств, как возникновение катастроф. Не уменьшая роли линейных моделей в развитии системного анализа в экологии, следует признать, что они не позволяют описывать переходы экосистем из одного состояния в другое, определять границы устойчивости возможных состояний, выявлять эффективные параметры, отвечающие за переход системы из одного состояния в другое.

В качестве примера приложения аппарата теории катастроф к решению задач почвенно-экологического мониторинга проанализируем устойчивость систем гумус – растительность на основе нелинейной модели гумусонакопления.

Вопросы гумусонакопления в почве издавна вызывали большой интерес исследователей. П.А. Костычев еще в 1886 г. предположил, что при известных постоянных условиях поступления и разложения органического вещества его накопление в почвах имеет предел. Теоретические расчеты по определению возможной величины накопления органического вещества, выполненные П.А. Костычевым, а затем И.В. Тюриным, имели основополагающее значение. Однако уровень развития науки того времени не позволил вскрыть механизмы гумусонакопления, описать динамику этого процесса. По современным представлениям система гумус – растительность относится к сложным саморегулирующимся системам с обратными связями. Обратные связи в этой системе сформировались в ходе эволюции системы в целом, когда состав и свойства гумуса зависели в той же мере от биоты, в какой биоценоз зависел от особенностей строения гумусового профиля. Как известно, обратные связи являются основным механизмом, ответственным за способность систем к саморегулированию. Система гумус – растительность регулируется положительной обратной связью, особенно на первых стадиях

формирования биогеоценозов. Каждый из партнеров в этой системе стимулирует развитие другого и через него – свое собственное. В дальнейшем эта связь иногда может переходить в отрицательную, например в условиях избыточного увлажнения.

В рассматриваемой модели отражена положительная обратная связь в системе гумус – растительность, учитывается, что не только количество растительных остатков влияет на уровень гумусонакопления, но и, наоборот, от содержания гумуса зависит продуктивность фитоценоза. Эта зависимость имеет нелинейный характер. Для ее аналитического представления использована гиперболическая функция, позволяющая отразить существенную зависимость продуктивности от содержания гумуса на ранних стадиях почвообразования и ослабление этой зависимости с ростом содержания гумуса по мере приближения системы к стационарному состоянию.

Для того чтобы иметь возможность легко проследить за основными тенденциями поведения системы гумус – растительность, в модели принята высокая степень агрегирования переменных [8].

Качественная структура модели в форме потоковой диаграммы представлена на рисунке 45.

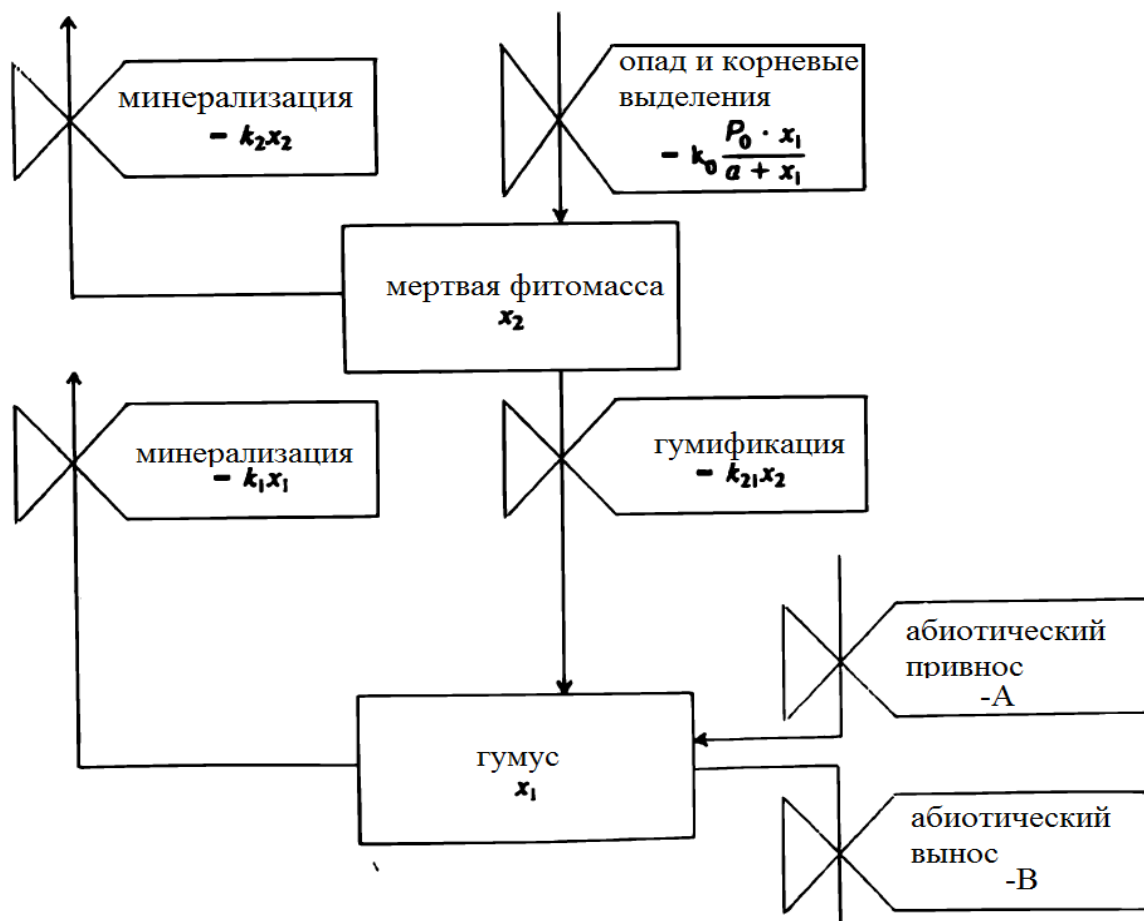


Рисунок 45 – Поточковая диаграмма органического углерода в системе гумус почвы – растительный покров

Аналитическая структура модели представляет собой систему из двух обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = k_{21}x_2 - k_1x_1 + c, \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{k_0P_0x_1}{a+x_1} - (k_2 + k_{21})x_2, \end{array} \right. \quad (27)$$

где x_1 – запас углерода гумуса в почве;

x_2 – запас углерода в мертвой фитомассе;

P_0 – потенциальная продуктивность фитоценоза (параметр, отражающий потенциальные возможности местности для создания органического вещества высшими растениями);

a – параметр, характеризующий почвообразующие породы;

k_0 – доля продукции, ежегодно включающаяся в деструкционный цикл;

k_1, k_2 – константы скорости минерализации гумуса и растительных остатков соответственно;

k_{21} – константа скорости гумификации растительных остатков;

c – скорость абиотических потоков органического углерода в системе, $c = A + B$, A – скорость абиотического привноса, B – скорость абиотических потерь органического C.

Исключая временную x_2 , сведем систему (27) к одному уравнению второго порядка относительно x_1

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = \frac{k \cdot k_{21} \cdot x_1}{a + x_1} - (k_1 + k_3) \frac{dx_1}{dt} - k_3k_1x_1 + k_3c, \quad (28)$$

где $k = k_0P_0$, $k_3 = k_2 + k_{21}$ – константа скорости разложения растительных остатков.

Для математического исследования этого уравнения заметим, что формально уравнение (28) совпадает с хорошо известным уравнением движения материальной частицы единичной массы, движущейся с диссипацией, описываемой вторым членом в правой части уравнения (28), во внешнем поле, потенциал которого $u(x_1)$ имеет вид

$$u(x_1) = \frac{k_1 k_3 x_1^3}{2} - k_3 c x_1 - \int \frac{k k_{21} x_1}{a + x_1} dx_1 = \frac{k_1 k_3 x_1^2}{2} - k_3 c x_1 - k_{21} k [x_1 - a \ln(a + x_1) + a \ln a] \quad (29)$$

Заметим, что введение потенциала $u(x_1)$ является чисто формальным приемом, облегчающим и делающим более наглядным математическое исследование уравнения (28). Не следует приписывать потенциалу реальный физический смысл, относящийся к системе гумус – растительность. Вместе с тем результаты, получаемые с помощью этого приема, однозначно интерпретируются в реальных экологических терминах.

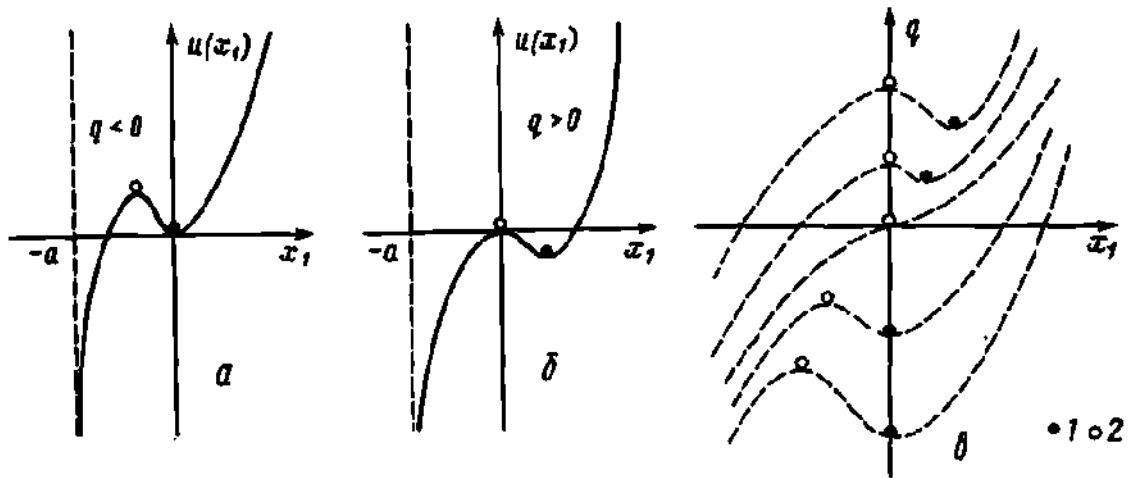
Устойчивой точкой равновесия будет точка локального минимума потенциала $u(x_1)$ [8].

Рассмотрим случай $C = 0$. Он относится к ситуации, когда абиотические потоки органического углерода очень малы по сравнению с биотическими и ими можно пренебречь, например в степных экосистемах.

В этом случае $u(x_1)$ имеет вид, представленный на рисунке 46.

Рисунок 46, а соответствует минимуму потенциала $u(x_1)$ при стационарном значении $x_1 = 0$. Этот случай реализуется при условии, что эффективный параметр системы $q = \frac{k \cdot k_{21}}{a} - k_1 k_3 < 0$ (эффективный параметр q равен второй производной потенциала в точке $x_1 = 0$, взятой со знаком минус). Эффективный параметр системы q имеет важное экологическое значение. Он представляет собой функцию параметров системы гумус почвы – растительный покров, однозначно определяемую механизмами

гумусонакопления, учтенными в модели. Эффективный параметр отвечает за переход системы из одного стационарного состояния в другое.



1 – устойчивое состояние; 2 – неустойчивое состояние.

Рисунок 46 – Вид потенциальной функции и положения стационарных состояний системы гумус почвы – растительность, для различных значений эффективного параметра в случае отсутствия абиотических потоков органического углерода ($C = 0$)

На рисунке 46, б схематически представлен вид потенциала $u(x_1)$ при $q > 0$. Мы видим, что стационарное состояние $x_1 = 0$ в этом случае неустойчиво и в системе возникает новое устойчивое стационарное состояние $x_1 = \frac{k \cdot k_{21}}{k_1 k_3} - a$, соответствующее минимуму потенциала $u(x_1)$.

Условие $q = 0$ соответствует точке бифуркации системы. В этой точке от тривиального стационарного решения, устойчивого при $q < 0$, непрерывно ответвляется ненулевое решение, устойчивое при $q > 0$.

На рисунке 46, в схематически изображены положения локальных минимумов потенциала $u(x_1)$ при различных значениях эффективного параметра q (потенциал $u(x_1)$ представлен пунктиром). Наглядно видно, что

для $q < 0$ минимум потенциала соответствует $x_1 = 0$, однако с ростом q глубина его уменьшается, при $q = 0$ наступает неустойчивость, после чего при $q > 0$ возникает минимум с $x_1 > 0$.

Из приведенного анализа следует, что при $q < 0$ гумусонакопления в системе не происходит, при $q = 0$ система находится в состоянии неустойчивости, при $q > 0$ в системе начинается гумусонакопление, при этом величина стационарного запаса гумуса с ростом q будет увеличиваться.

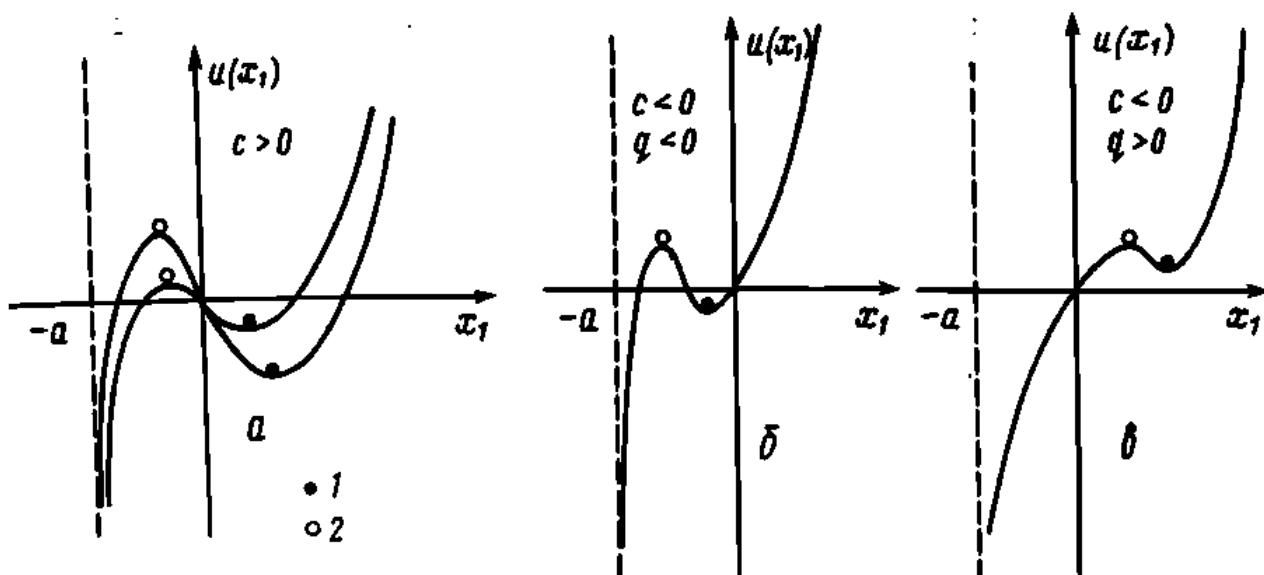
Перейдем к рассмотрению случая $c \neq 0$, что позволяет учесть абиотические потоки органического углерода в системе. Он представляет интерес при рассмотрении лесных экосистем, где возможны значительные потери органического углерода с внутрипочвенным стоком, а также агроэкосистем, так как в них вносятся органические удобрения и возможны высокие потери гумуса за счет эрозии.

Следует выделить две возможности $c > 0$ и $c < 0$ [8].

Первая из этих возможностей соответствует абиотическому привносу органического углерода в систему. Потенциал $u(x_1)$ в этом случае всегда имеет минимум в положительной области значений x_1 для любых значений эффективного параметра системы q . Положение и глубина минимума, которой определяется степень устойчивости системы, зависят от величины абиотического притока органического C и значения эффективного параметра q (рисунок 47, а).

Более интересен случай $c < 0$, соответствующий абиотическим потерям гумуса за счет эрозии и миграции в результате бокового и внутрипочвенного стока. Рассмотрим его более подробно.

Качественный вид потенциала $u(x_1)$ при $q < 0$ приведен на рисунке 47, б и рисунке 47, в для $q > 0$. Легко видеть, что при $q < 0$ отсутствует устойчивое состояние при $x_1 > 0$. Таким образом, при наличии абиотических потерь органического углерода гумусонакопление возможно только при положительных значениях эффективного параметра.



1 – устойчивое состояние; 2 – неустойчивое состояние.

Рисунок 47 – Вид потенциальной функции в положения стационарных состояний системы гумус почвы – растительность в случае, когда абиотические потоки органического углерода существенны ($c \neq 0$)

Далее будем рассматривать только случай $q > 0$. Условие экстремумов потенциала имеет вид

$$\frac{du}{dx_1} = \frac{kk_{21}x_1}{a+x_1} - k_1k_3x_1 + k_3c = 0. \quad (30)$$

Отсюда получаем, что потенциал $u(x_1)$ имеет минимум при

$$x_1 = \frac{kk_{21} - k_3c_0 - a_1k_1k_3 + \sqrt{(kk_{21} - k_3c_0 - ak_1k_3)^2 - 4ak_1k_3^2c_0}}{2k_1k_3}, \quad (31)$$

где $c_0 = -c$, $c_0 > 0$.

Очевидно, что действительное решение (31) существует при

$$(k_{21}k - k_3c_0 - ak_1k_3)^2 - 4ak_1k_3^2c_0 \geq 0. \quad (32)$$

Неравенство (32) позволяет определить границы значений параметров, в которых существуют устойчивые состояния системы гумус – растительность. Знак равенства в (32) соответствует слиянию максимума и минимума потенциала $u(x_1)$ на рисунке 47, в. Значения параметров, при которых неравенство (32) обращается в равенство, являются критическими для системы гумус – растительность.

Критическими значениями параметров системы являются такие значения, при которых система теряет устойчивость.

Можно найти критические значения для любого из параметров, входящих в (32), при условии фиксированных остальных. В качестве примера определим критическое значение параметра c_0 , характеризующего абiotические потери органического углерода системой. Решая неравенство (32) относительно c_0 , получаем, что система устойчива при условии

$$c_0 \leq \frac{(\sqrt{kk_{21}} - \sqrt{ak_1k_3})^2}{k_3}. \quad (33)$$

Знак равенства в (33) соответствует критическому значению параметра c_0 . Подставляя критическое значение c_0 в (31), можно оценить минимальное значение достижимое в системе без ее разрушения при заданных параметрах, характеризующих биотические потоки углерода в системе гумус – растительность. Аналогично можно определить область устойчивости и критические значения для остальных параметров системы гумус – растительность [8].

Исследование модели позволяет оценить характер изменений запасов органического углерода в почве в результате действия различных факторов,

учитывая, что реакция системы на внешнее воздействие является многопараметрической функцией. Например, с помощью модели можно проследить отклик системы на глобальные изменения климата в связи с парниковым эффектом. Для этого нужно проанализировать, как меняется запас органического углерода в почве при одновременном изменении параметров, характеризующих процессы, слагающие круговорот С в системе почва – растительность. В качестве иллюстрации на рисунке 48 приведен график зависимости запаса гумуса в почве от потенциальной продуктивности и коэффициента минерализации гумуса.

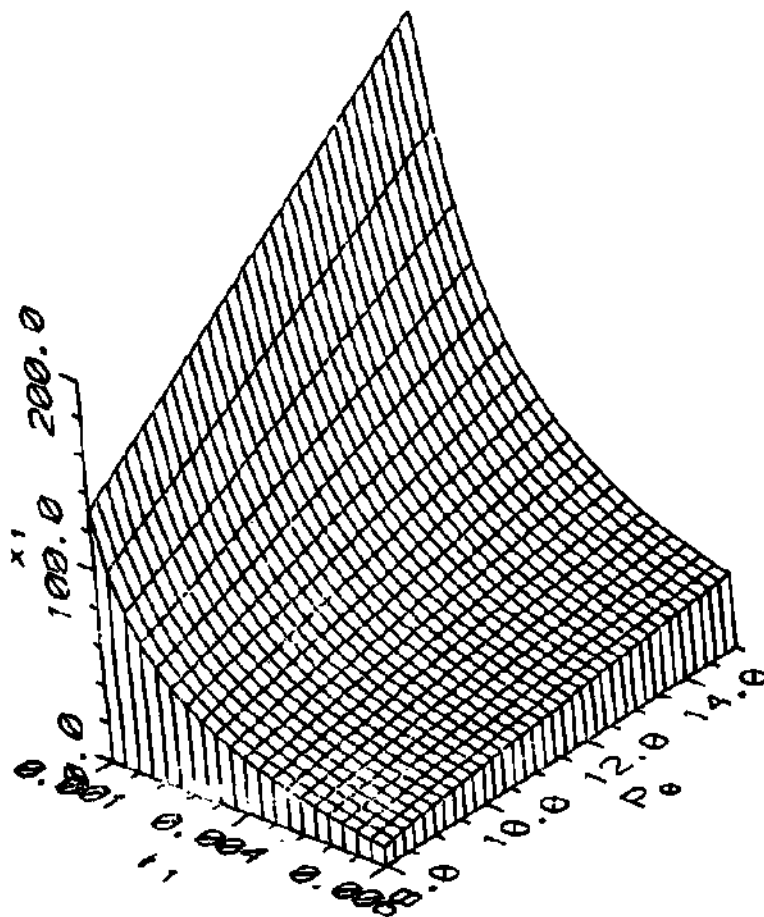


Рисунок 48 – Зависимость запаса углерода гумуса в почве (x_1) от потенциальной продуктивности (P_0) и коэффициента минерализации гумуса (k_1): x_1 [т·С·га⁻¹], P_0 [т·С·га⁻¹·год⁻¹], k_1 [год⁻¹]

Рассмотренная модуль гумусонакопления довольно груба и в значительной мере упрощает реальную ситуацию, однако она учитывает основные процессы гумусонакопления в почвах и позволяет проследить за основными тенденциями поведения системы. Модель может быть легко приспособлена для рассмотрения более сложных ситуаций, например для анализа качественного состава гумуса. При этом возникнут новые переменные состояния модели, а число уравнений в системе (27) увеличится, но следует помнить, что в этом случае исследование значительно усложнится, а интерпретация результатов станет менее наглядной. Поэтому в зависимости от целей моделирования важно выбирать оптимальный уровень детализации описания системы [8].

Контрольные вопросы

- 1 Что такое модель. Каковы ее цели?
- 2 Назовите достоинства и недостатки концептуально-балансовой модели почвенного экологического мониторинга.
- 3 Охарактеризуйте динамическую многокомпонентную модель. Пример.
- 4 Охарактеризуйте динамическую малокомпонентную модель. Пример.

11 Оценка и контроль качества почвенной информации при экологическом мониторинге

Правильность принимаемых по результатам экологического мониторинга практических решений в полной мере зависит от качества почвенного аналитического материала, которое во многом зависит от надежности используемых методов анализа. Основные требования к ним: учет реальных возможностей методов анализа и соответствие их задачам и

объектам исследования, обеспечение единства и достоверности измерений, метрологическая аттестация массовых методов анализа.

Следует различать **первичную и вторичную почвенную информацию** экологического мониторинга. Первичная информация представляет собой результаты прямых и косвенных измерений, банк аналитических данных, характеризующих почву и экосистему в целом. Вторичную информацию составляют те расчетные данные, которые получены при последующей обработке первичной информации [8].

Следует сразу же подчеркнуть, что ни одна из ошибок, допущенных на первых стадиях почвенного мониторинга, не может быть исправлена на последующих этапах работы.

Точность методов почвенных анализов в полной мере соответствует понятию точности в метрологии – науки об измерениях. Метрологические методы применяются в самых разных областях знаний. Каждый метод анализа характеризуют основные метрологические характеристики: правильность, воспроизводимость результатов, чувствительность анализа, предел обнаружения. Вычисляют их с помощью главных статистических оценок – средней выборочной и выборочного среднего квадратического отклонения.

Правильность – показатель близости полученного при измерении среднего и действительного значений измеряемой величины, т.е. показатель близости к нулю систематической погрешности.

Воспроизводимость – показатель степени близости результатов параллельных определений измеряемой величины. О ней можно судить по величине случайной погрешности.

Чувствительность любого метода анализа показывает способность прибора, регистрирующего аналитический сигнал, реагировать на изменение концентрации определяемого элемента в пробе.

Предел обнаружения – наименьшая надежно определяемая концентрация химического элемента в пробе.

Каждый метод анализа почв, используемый при почвенном мониторинге, должен пройти метрологическую аттестацию. В противном случае в разных регионах страны в разных аналитических лабораториях будут получены несопоставимые данные, что сделает невозможным выявление антропогенных изменений в состоянии почв.

Вычисление главных статистических оценок – средней выборочной и выборочного среднего квадратического отклонения, а также ряд других вычислений (дисперсионный анализ и др.) возможны при статистически незначимом отклонении в распределении погрешностей от нормального закона распределения. Проверка последнего проводится с помощью коэффициентов асимметрии и эксцесса, с помощью критерия Пирсона. Способы вычисления их описаны в различных руководствах по статистике. При числе измерений менее 30 наиболее мощным критерием соответствия распределения нормальному закону является критерий Уилко и Шипиро. Проверку распределения по W -критерию проводят следующим образом:

1 Все n значения случайной величины X , полученные в ходе эксперимента, располагают в порядке возрастания от X_1 до X_n .

2 Вычисляют величину c по формуле

$$c = (n - 1) \cdot s^2. \quad (34)$$

3 Вычисляют величину b по формуле

$$b = a_n(x_n - x_1) + a_{n-1}(x_{n-1} - x_2) + \dots, a_{n-k+1} \cdot (x_{n-k+1} - x_k), \quad (35)$$

где значения $a(n - k + 1)$ – берут из таблицы Б.1 приложения Б, причем

$k = n/2$, если n – четное число, то $k = \frac{n-1}{2}$, если n – нечетное, то

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_\gamma)^2}{n - 1}.$$

4 Вычисляют величину W по формуле

$$W = \frac{b^2}{c}. \quad (36)$$

5 Сравнивают $W_{расч.}$ с $W_{\alpha, n табл.}$ (таблица В.1 приложения В) при соответствующем уровне значимости. Если $W_{расч.} > W_{табл.}$, то нет оснований для отклонения гипотезы о нормальном распределении результатов. Если $W_{расч.} < W_{\alpha, n табл.}$, то в ряду результатов анализа отбрасывают тот, который наиболее отличается от среднего, и оценку повторяют при новом значении n .

После получения доказательств нормального распределения результатов анализа можно вычислить параметры распределения. Среднее арифметическое находят по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (37)$$

Среднее квадратическое отклонение вычисляют по формуле

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (38)$$

где $x_i - x_n$ – случайные значения выборки объемом n .

Доверительные границы (верхнюю и нижнюю) генерального среднего арифметического находят по формуле

$$m = \bar{x} \pm \frac{t^{\alpha}(V)}{\sqrt{n}} \cdot S, \quad (39)$$

где $\bar{x}$, S – выборочные характеристики, а значения $\frac{t^{\alpha}(V)}{\sqrt{n}}$ приведены в таблице Г.1 приложения Г.

Границы доверительного интервала для генерального среднего квадратического отклонения находят по формуле

$$\sigma_{H.G.} = \frac{x_{1+\gamma}}{2}(\nu) \cdot S; \quad \sigma_{B.G.} = \frac{x_{1-\gamma}}{2}(\nu) \cdot S. \quad (40)$$

Как уже отмечалось, воспроизводимость результатов того или другого метода анализа оценивают по варьированию результатов параллельных определений. Ограничением для уровней аналитического варьирования служат сведения о естественном природном варьировании различных почвенных свойств и характеризующих их показателей.

Считается, что для определения почвенных показателей, как правило, сильно варьирующих в естественных условиях, можно применять методы, аналитическое среднее квадратическое отклонение которых составляет не более 1/2 природного варьирования этого показателя.

Аналитическое выборочное среднее квадратическое отклонение S , свидетельствующее о случайном разбросе параллельных определений, рассчитывают согласно вышеприведенной формуле.

При межлабораторном контроле в качестве контрольных образцов применяются государственные (ГСО) и отраслевые (ОСО) стандартные образцы, приготовление и аттестация которых проводится в соответствии с ГОСТом 8.316-78. В аттестатах к образцам приведены истинные значения показателей общего содержания химических элементов или их соединений (μ). При внутрилабораторном контроле проводится регулярный анализ либо серии стандартных образцов с известными μ , либо частичный повторный анализ образцов, ранее проанализированных в лаборатории, для которых определены средние значения показателей (c_0), относительное среднеквадратическое отклонение результатов в % находят как отношение

$$S_r = \frac{S}{\mu} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad S_r = \frac{S}{c_0} \cdot 100\% . \quad (41)$$

Относительное расхождение результатов двух параллельных определений не должно превышать удвоенную среднеквадратическую ошибку расхождения результатов, т.е. $2S_{rp}$, где $S_{rp} = \sqrt{2} \cdot S_r$.

На этом основании рекомендуются уровни допустимых расхождений при контроле качества анализов. Но варьирование результатов любого метода не является величиной постоянной в широком диапазоне определяемых показателей: чем меньше значение показателя, тем сильнее его варьирование [8].

С учетом этого обстоятельства для расчета допустимых расхождений в каждом диапазоне концентраций используют формулы

$$\begin{aligned} D_{\text{ДОП}}^{\text{МЛ}} &= A + B \cdot \mu^{-\alpha}, \\ D_{\text{ДОП}}^{\text{ВН}} &= A + B \cdot C_0^{-\alpha}, \end{aligned} \quad (42)$$

где $D_{\text{ДОП}}^{\text{МЛ}}$ – межлабораторные допустимые расхождения,

$D_{\text{ДОП}}^{\text{ВН}}$ – внутрилабораторные допустимые расхождения.

Коэффициенты A , B , α находят для каждого показателя эмпирически, они меняются в зависимости от природы уровня определяемого показателя. В различных методических указаниях по проведению внутрилабораторного и межлабораторного контроля приведены либо значения коэффициентов A , B , α для различных методов анализа и для каждого диапазона концентраций (Отраслевой стандарт. Управление качеством аналогических работ. ОСТ 41-08-205-81; Внутрилабораторный контроль воспроизводимости результатов анализа почвенно-агрохимических объектов. М., 1984), либо уже

вычисленные с их помощью значения допустимых расхождений (Методические указания по проведению контроля качества анализов почв в лабораториях единой специализированной агрохимической службы. М., 1981). В таблице 22 приведены некоторые из нормативов.

Таблица 22 – Допустимые отклонения от аттестованного значения стандартного (контрольного) образца при внутрилабораторном и межлабораторном контроле качества агрохимических анализов

Показатель	Уровень содержания	Допустимые отклонения	
		Внутрилабораторный контроль	Межлабораторный контроль
Подвижный P_2O_5 мг/кг (по Кирсанову)	0 – 30	20	35
	30 – 60	15	25
	> 60	15	20
Подвижный K_2O , мг/кг (по Масловой)	0 – 50	15	20
	500 – 100	15	20
	> 100	10	15
Гумус, % (по Тюрину)	< 2	20	30
	2 – 5	20	20
	5 – 10	10	12
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	< 3	12	25
	3 – 20	12	20
Обменный Ca^{+2} мг-экв/100 г Мп в вытяжке 0,1 н. H_2SO_4 , мг/кг	< 4	15	30
	4 – 50	10	20
	0 – 30	20	30
	30 – 70	15	20
	> 70	10	15
Cu в вытяжке 1,0 н. HCl , мг/кг	0 – 1	70	70
	1 – 3,3	50	50
	3,3 – 5,0	30	40
	> 5,0	20	30

Для проведения внутрилабораторного контроля из партии проб объемом n формируют контрольную выборку объемом K в соответствии с таблицей 23.

Таблица 23 – Приемочные числа и необходимый объем контрольной выборки для различных объемов анализируемой партии

Число проб, n	Объем контрольной Выборки, K	Приемочное число, f
2 – 8	2	0
9 – 15	3	0
16 – 25	5	0
26 – 50	8	1
51 – 90	13	2
90 – 150	20	3
151 – 280	32	5

Выборка должна характеризовать контролируемую партию во всем диапазоне определяемых показателей и влияющих на них факторов. Реальные расхождения (D) между двумя параллельными результатами (первичным и контрольным) в относительных единицах находят по уравнению

$$D = \frac{C_1 - C_2}{C_{cp}} \cdot 100\%, \quad (43)$$

где C_1 – больший результат,

C_2 – меньший результат,

C_{cp} – средний.

Найденную величину реального расхождения сравнивают с допустимым уровнем. Результаты проверки считают удовлетворительными, если число отклонений от допустимых значений не превышает 7 % от числа проанализированных проб. На этом основании вычислено приемочное число (f) (таблица 23).

Чувствительность определения. В почвенном анализе почти все измерения относятся к косвенным. Это значит, что непосредственно измеряемой величиной в анализе является аналитический сигнал (y). Им может быть оптическая плотность в колориметрическом анализе, интенсивность спектральной линии в эмиссионном анализе, высота полярографической волны. По аналитическому сигналу определяют концентрацию химического элемента или его соединения (X).

Математическая зависимость, связывающая аналитический сигнал и концентрацию, называется градуировочной функцией, $y = f(x)$. Чувствительность – это первая производная градуировочной функции. Она устанавливает связь между аналитическим сигналом и концентрацией –

$y = \frac{dy}{dx}$. Чувствительность (b) равна угловому коэффициенту градуировочного графика, который представляет собой графическую зависимость между аналитическим сигналом и концентрацией.

Прямолинейный градуировочный график имеет общий вид уравнения прямой $y = a + bx$, где b – угловой коэффициент, показывает, как меняется аналитический сигнал, когда концентрация в пробе меняется на единицу [8]. Если при построении градуировочного графика для K стандартных образцов с переменными концентрациями $x_1, x_2, \dots, x_n$ были получены соответствующие аналитические сигналы $y_1, y_2, \dots, y_n$, то точное значение углового коэффициента (или чувствительности) для этого интервала концентраций может быть найдено по формуле

$$b = \frac{k \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{k \sum x^2 - (\sum x)^2}, \quad (44)$$

где $\sum x$ – сумма всех концентраций стандартных образцов;

$\sum y$ – сумма всех аналитических сигналов, полученных для всех стандартных образцов;

$\sum xy$ – сумма произведений концентраций стандартных растворов на соответствующие им аналитические сигналы;

$\sum x^2$ – сумма квадратов концентраций стандартных растворов.

Чувствительность любого анализа существенно зависит от уровня определяемых концентраций. Поэтому необходимо находить чувствительность для каждого интервала концентраций. Ее можно вычислить как отношение приращения аналитического сигнала к приращению концентраций в каждом интервале их: $b = \frac{\Delta y}{\Delta x}$.

Предел обнаружения – наименьшая концентрация, по которой при заданной доверительной вероятности по данной методике можно в пробе обнаружить присутствие определяемого химического элемента или его соединения. Как уже отмечалось, почти все методы анализа в почвенном мониторинге относятся к косвенным, т.е. о концентрации элемента в пробе судят по аналитическому сигналу. А аналитический сигнал очень часто отмечается и при отсутствии элемента в пробе из-за шумовых эффектов различной природы. Чтобы не принять такой «шум» за сигнал присутствия определяемого элемента, нужно обязательно при измерениях учитывать величину шумового эффекта. Для этого необходимо провести многократные измерения холостого сигнала, т.е. провести через весь анализ до получения конечного аналитического сигнала холостой раствор, т.е. раствор, в который введены все реактивы, но не введена анализируемая проба. Сигнал холостого раствора непостоянен. От его разброса и зависит предел обнаружения.

Предел обнаружения должен надежно превышать максимальную величину холостого сигнала. При вероятности 0,99 его считают равным шестикратному среднему квадратическому отклонению холостого сигнала $6 \cdot S_0$, а при вероятности 0,95 предел обнаружения превышает последний в 4 раза, т.е. равен $4 \cdot S_0$.

Итак, для определения предела обнаружения нужно провести 10 – 15-кратный анализ холостого раствора, который содержит все используемые реагенты без анализируемой пробы и прошел все стадии анализа. Найти по результатам его и вычислить предел обнаружения с вероятностью 0,99 ($6 \cdot S_0$) или с вероятностью 0,95 ($4 \cdot S_0$). Полученное значение в полной мере соответствует пределу обнаружения лишь в прямых методах анализа, для косвенных методов необходимо от наименьшего значимо определяемого аналитического сигнала перейти к наименьшей значимо определяемой концентрации элемента в пробе. Пересчет этот проводится, как уже говорилось, с помощью показателя чувствительности

$$C_{min,0,99} = \frac{6 \cdot S_0}{b}, \quad C_{min,0,95} = \frac{4 \cdot S_0}{b}. \quad (45)$$

Вторичная информация может быть разнообразной. Ею могут быть результаты сопоставления почв исходных и измененных в результате того или иного вида антропогенного воздействия (осушения или обводнения, удобрения, загрязнения, засоления или рассоления и пр.). Такое сопоставление сводится к вычислению разности сравниваемых величин и оценке их статистической значимости. Вторичной информацией могут быть показатели связи между контролируемыми показателями с целью выявления причинно-следственной зависимости между ними и возможного прогноза изменения свойств почв. С этой целью выполняется корреляционный, регрессионный и другие виды анализа. Наивысшим уровнем обобщения и анализа экспериментально полученных данных является математическое

моделирование природных процессов, имеющее большое значение в почвенном экологическом мониторинге [8].

Контрольный вопрос

От чего зависит правильность принимаемых по результатам экологического мониторинга практических решений? Охарактеризуйте такие параметры как первичную и вторичную почвенную информацию экологического мониторинга, точность методов, правильность, воспроизводимость, чувствительность, предел обнаружения.

Заключение

В повседневной жизни мало кто задумывается о неоценимой роли почвы в состоянии природной среды и жизни человека. Тем не менее, почва дает нам практически все продукты питания. В ней живет 90 % всего живого на земле. Почва природный фильтр воды и воздуха и основная кладовая генетического фонда Планеты.

В тоже время, состояние почвенно-земельных ресурсов в большинстве субъектов Российской Федерации и в мире в целом катастрофически ухудшается. Почвенный покров подвержен деградации и загрязнению, теряет устойчивость к разрушению, способность к восстановлению свойств и воспроизводству плодородия.

В сложившейся обстановке требуется принятие незамедлительных законодательных и управленческих решений по выходу на равновесное развитие отношений общества и природы и, прежде всего, сохранению почвенного покрова страны, способствующего благоприятному проживанию населения и получению экологически чистой продукции.

Эффективное решение накопленных проблем возможно лишь при наличии постоянно действующей системы госмониторинга и контроля за качеством почв на всей территории России.

В учебном пособии обоснованы принципы, объекты и задачи почвенного мониторинга как составной части экологического мониторинга, раскрываются понятия глобального, регионального, импактного и фоновое мониторинга. Освещены вопросы устойчивости почв к антропогенным воздействиям. Подробно рассмотрены виды специфического, комплексного и универсального мониторинга почв. Предложен перечень показателей почвенно-экологического мониторинга, сроки, периодичность наблюдений. Рассмотрены основные принципы дешифрирования аэрокосмоснимков и вопросы математического обеспечения почвенного мониторинга.

Учебное пособие является основой для проведения практикума по различным дисциплинам, в частности дисциплины «Почвенно-экологический мониторинг». Предназначено для студентов, аспирантов, преподавателей, занимающихся вопросами экологического мониторинга, а также для широкого круга геологов, биологов, экологов, природопользователей.

Список использованных источников

- 1 Ручин, А. Б. Урбоэкология для биологов / А. Б. Ручин, В. В. Мещеряков, С. Н. Спиридонов. – М. : КолосС, 2009. – 195 с.
- 2 Коробкин, В. И. Экология и охрана окружающей среды : учебник / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – М. : КНОРУС, 2013. – 336 с.
- 3 Экология : учебное пособие / М. Н. Корсак [и др.] ; под ред. С. В. Белова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 240 с.
- 4 Мотузова, Г. В. Экологический мониторинг почв : учебник / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – М. : Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – 237 с.
- 5 Королев, В. А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геохимических систем: учебное пособие / В. А. Королев ; под ред. В. Т. Трофимова. – М. : КДУ, 2007. – 416 с.
- 6 Об охране окружающей среды: ФЗ от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ. – Введ. 2002-01-12. – Изменен и дополнен 2016-07-03. – М. : Изд-во: Российская газета, Парламентская газета.
- 7 Махонина, Г. И. Мониторинг нарушенных земель : учебное пособие / Г. И. Махонина, В. В. Валдайских. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2008. – 207 с.
- 8 Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв: учеб. пособие / под ред. Д. С. Орлова, В. Д. Васильевской. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – 272 с.
- 9 Принципы выбора эталонных объектов при создании Красной Книги почв России / Г. В. Добровольский, О. В. Чернова, О. В. Семенюк, Л. Г. Богатырев // Почвоведение. – 2006. – № 4. – С. 387-395.
- 10 Драган, Н. А. Мониторинг и охрана почв : учебное пособие / Н. А. Драган. – Симферополь : Изд-во ТНУ, 2008. – 172 с.
- 11 Агрохимическое обследование и мониторинг почвенного плодородия // Российский аграрный портал. – Режим доступа:

<http://agroportal-ziz.ru/articles/agrohimicheskoe-obsledovanie-i-monitoring-pochvennogo-plodorodiya>.

12 Ларин, И. В. Перспективы использования лугово-пастбищной флоры СССР в связи с травопольной системой земледелия / И. В. Ларин // Проблемы ботаники : сб. ст. – М., Л. : Академия наук СССР, 1950. – С. 451-455.

13 Луговое хозяйство и пастбищное хозяйство / И. В. Ларин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Агропромиздат, Ленинградское отделение, 1990. – 600 с.

14 Тесля, А. В. Экологические условия восстановления естественной растительности сбитых пастбищ лесостепной и степной зон Предуралья : дис. ... канд. биол. наук / А. В. Тесля. – Оренбург, 2009. – 176 с.

15 Вальтер, Г. Общая геоботаника / Г. Вальтер ; перевод с нем. А. Г. Еленевского. – М. : Мир, 1982. – 264 с.

16 Ненароков, М. И. Улучшение сенокосов и пастбищ / М. И. Ненароков. – Воронеж : Центрально-Черноземное книжное изд-во, 1971. – 360 с.

17 Утемова, Л. Д. Геоботаническая характеристика степных пастбищных фитоценозов / Л. Д. Утемова // Тезисы докладов научной конференции, посвященной 100-летию плана В. В. Докучаева по борьбе с засухой и преобразования степей России. Абакан, 4 – 6 августа 1992 г. – Кн. 2. – Новосибирск : Сибирское отделение РАСХН, 1992. – С. 200-202.

18 Рябина, З. Н. О влиянии выпаса на степную растительность / З. Н. Рябина // Человек и ландшафты. Общие проблемы изучения антропогенных ландшафтов. Информационные материалы : сб. ст. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1979. – С. 39-41.

19 Рябина, З. Н. Растительный покров степей Южного Урала (Оренбургская область) / З. Н. Рябина. – Оренбург : Издательство ОГПУ, 2003. – 224 с.

- 20 Почвоведение : учебник для бакалавров / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – М. : Изд-во Юрайт, 2013. – 527 с.
- 21 Петров, К. М. Геоэкология : учебное пособие / К. М. Петров. – СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 274 с.
- 22 Кравцова, В. И. Космические методы исследования почв : учеб. пособие для / В. И. Кравцова. – М. : Аспект Пресс, 2005. – 190 с.
- 23 Геодезическое инструментоведение : метод. указания / Г. П. Хремли, Т. И. Левитская, Н. А. Казаченко. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2011. – 203 с.
- 24 Руководство по дешифрированию аэроснимков при топографической съемке и обновлении планов масштабов 1 : 2000 и 1 : 5000 (ГКИНП-02-121-79). – Введ. 1980-06-01. – М. : ЦНИИГАиК, 1980. – 239 с.
- 25 Варламов, А. А. Земельный кадастр : в 6 т. / А. А. Варламов. – М. : КолосС, 2004. – Т. 2. Управление земельными ресурсами. – 528 с.

Приложение А

(обязательное)

Определение степени деградации почв и земель (по Яковлеву и др., 2001)

Таблица А.1

Показатели	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Мощность абиотического наноса, см	< 2	2 – 10	10 – 20	20 – 40	> 40
Глубина провалов, см, относительно поверхности (без разрыва сплошности)	< 20	20 – 40	40 – 100	100 – 200	> 200
Содержание физической глины, уменьшение на %	< 5	5 – 15	15 – 25	25 – 32	> 32
Плотность сложения пахотного слоя, уменьшение в % от исходного	< 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	> 40
Стабильная структурная пористость (межагрегатная без учета трещин), см ³ /г	> 0,2	0,2 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,02	< 0,02
Текстурная пористость (внутриагрегатная), см ³ /г	> 0,3	0,3 – 0,25	0,25 – 0,2	0,2 – 0,17	< 0,17
Коэффициент фильтрации, м/сут.	> 1,0	1,0 – 0,3	0,3 – 0,1	0,1 – 0,01	< 0,01
Каменистость, % покрытия	< 5	5 – 15	15 – 35	35 – 70	> 70
Мощность почвенного профиля (А + В), уменьшение в % от исходного*	< 3	3 – 25	25 - 50	50 – 75	> 75
Запасы гумуса в А + В, % от исходного	< 10	10 – 20	20 – 40	40 – 80	> 80
Содержание Мп, Со, Мо, В, Сu, Fe, уменьшение в %	< 10	10 – 20	20 – 40	40 – 80	> 80
Содержание подвижного фосфора, уменьшение в % от средней степени обеспеченности	< 10	10 – 20	20 – 40	40 – 80	> 80

Продолжение таблицы А.1

Показатели	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Содержание обменного калия, уменьшение в % от средней степени обеспеченности	< 10	10 – 20	20 – 40	40 – 80	> 80
Кислотность (рН-сол.), уменьшение в % к средней	< 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	> 25
Потеря почвенной массы, т/га/год	< 5	5 – 25	25 – 100	100 – 200	> 200
Площадь обнаженной почвообразующей (С) или подстилающей (Д) породы, % от общей	< 2	2 – 5	5 – 10	10 – 25	> 25
Площадь эродированных почв, увеличение на % в год	< 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0	2,0 – 5,0	> 5,0
Глубина размывов и водороев относительно поверхности, см	< 20	20 – 40	40 – 100	100 – 200	> 200
Расчлененность территории оврагами, км/км ²	< 0,1	0,1 – 0,3	0,3 – 0,7	0,7 – 2,5	> 2,5
Дефляционный нанос неплодородного слоя, см	< 2	2 – 10	10 – 20	20 – 40	> 40
Площадь выведенных из землепользования угодий, % от общей	< 10	10 – 30	30 – 50	50 – 70	> 70
Проективное покрытие пастбищной растительности, % от зонального	> 90	90 – 70	70 – 50	50 – 10	< 10
Площадь деградированных пастбищ, скорость роста в % от общей	< 0,25	0,25 – 1,0	1,0 – 3,0	3,0 – 5,0	> 5,0
Площадь подвижных песков, % от общей	< 2	2 – 5	5 – 15	15 – 25	> 25
Увеличение площади подвижных песков, % в год	< 0,25	0,25 – 1,0	1,0 – 2,0	2,0 – 4,0	> 4,0
Содержание суммы токсичных солей в верхнем плодородном слое, % (с участием соды)	< 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,5	> 0,5

Продолжение таблицы А.1

Показатели	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Залегание пресных (< 3 г/л) почвенно-грунтовых вод, м (в гумидной зоне)	> 1,0	1,0 – 0,8	0,8 – 0,6	0,6 – 0,3	< 0,3
Залегание пресных (< 3 г/л) почвенно-грунтовых вод, м (в степной зоне)	> 4	4 – 3	3 – 2	2 – 1	< 1
Залегание минерализованных (> 3 г/л) почвенно-грунтовых вод, м (в степной зоне)	> 7	7 – 5	5 – 3	3 – 2	< 2
Затопление (поверхностное переувлажнение), мес.	< 3	3 – 6	6 – 12	12 – 18	> 18
Сработка торфа, мм/год	< 1	1 – 2,5	2,5 – 10	10 – 40	> 40
* За исходное принимается состояние недеградированного аналога (нулевая степень деградации)					

Приложение Б

(справочное)

**Коэффициент, используемый при проверке на нормальность
распределения с помощью критерия W для $n = 3(1)50$**

Таблица Б.1

i	n							
	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,7071	0,6872	0,6646	0,6431	0,6233	0,6052	0,5888	0,5739
2		0,1677	0,2413	0,2806	0,3031	0,3164	0,3244	0,3291
3				0,0875	0,1401	0,1743	0,1976	0,2141
4						0,0561	0,0947	0,1224
5								0,0399
i	n							
	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,5601	0,5475	0,5359	0,5251	0,5150	0,5056	0,4968	0,4886
2	0,3315	0,3325	0,3325	0,3318	0,3306	0,3290	0,3273	0,3253
3	0,2260	0,2347	0,2412	0,2460	0,2495	0,2521	0,2540	0,2553
4	0,1429	0,1586	0,1707	0,1802	0,1878	0,1939	0,1988	0,2027
5	0,0695	0,0933	0,1099	0,1240	0,1353	0,1447	0,1524	0,1587
6		0,0303	0,0539	0,0727	0,0880	0,1005	0,1109	0,1197
7				0,0240	0,0433	0,0593	0,0725	0,0837
8						0,0196	0,0359	0,0496
i	n							
	19	20	21	22	23	24	25	26
1	0,4808	0,4734	0,4643	0,4590	0,4542	0,4493	0,4450	0,4407
2	0,3232	0,3211	0,3185	0,3156	0,3126	0,3098	0,3069	0,3043
3	0,2561	0,2565	0,2578	0,2571	0,2563	0,2554	0,2543	0,2533
4	0,2059	0,2085	0,2119	0,2131	0,2139	0,2145	0,2148	0,2151
5	0,1641	0,1686	0,1736	0,1764	0,1787	0,1807	0,1822	0,1836
6	0,1271	0,1334	0,1399	0,1443	0,1480	0,1512	0,1539	0,1563
7	0,0932	0,1013	0,1092	0,1150	0,1201	0,1245	0,1283	0,1316
8	0,0612	0,0711	0,0804	0,0878	0,0941	0,0997	0,1046	0,1089
9	0,0303	0,0422	0,0530	0,0618	0,0696	0,0764	0,0823	0,0876
10		0,0140	0,0263	0,0368	0,0459	0,0539	0,0610	0,0672
11				0,0122	0,0228	0,0321	0,0403	0,0476
12						0,0107	0,0200	0,0284
13								0,0094

Продолжение таблицы Б.1

i	n							
	27	28	29	30	31	32	33	34
1	0,4366	0,4328	0,4291	0,4254	0,4220	0,4188	0,4145	0,4127
2	0,3018	0,2992	0,2968	0,2944	0,2921	0,2898	0,2876	0,2854
3	0,2522	0,2510	0,2499	0,2487	0,2475	0,2463	0,2451	0,2439
4	0,2152	0,2151	0,2150	0,2148	0,2145	0,2141	0,2137	0,2132
5	0,1848	0,1857	0,1864	0,1870	0,1874	0,1878	0,1880	0,1882
6	0,1584	0,1601	0,1616	0,1630	0,1641	0,1651	0,1660	0,1667
7	0,1346	0,1372	0,1395	0,1415	0,1433	0,1449	0,1463	0,1467
8	0,1128	0,1162	0,1192	0,1219	0,1243	0,1265	0,1284	0,1301
9	0,0923	0,0965	0,1002	0,1036	0,1066	0,1093	0,1118	0,1140
10	0,0728	0,0778	0,0822	0,0862	0,0899	0,0931	0,0961	0,0988
11	0,0540	0,0598	0,0650	0,0697	0,0739	0,0777	0,0812	0,0844
12	0,0358	0,0424	0,0483	0,0537	0,0585	0,0629	0,0669	0,0706
13	0,0178	0,0235	0,0320	0,0381	0,0435	0,0485	0,0530	0,0572
14		0,0084	0,0159	0,0227	0,0289	0,0344	0,0395	0,0441
15				0,0076	0,0144	0,0206	0,0262	0,0314
16						0,0068	0,0131	0,0187
17								0,0062
i	n							
	35	36	37	38	39	40	41	42
1	0,4096	0,4068	0,4040	0,4015	0,3989	0,3964	0,3940	0,3917
2	0,2834	0,2813	0,2794	0,2774	0,2755	0,2737	0,2719	0,2701
3	0,2427	0,2415	0,2403	0,2391	0,2380	0,2368	0,2357	0,2345
4	0,2127	0,2121	0,2116	0,2110	0,2104	0,2098	0,2091	0,2085
5	0,1883	0,1883	0,1883	0,1881	0,1880	0,1878	0,1876	0,1874
6	0,1673	0,1678	0,1683	0,1686	0,1689	0,1691	0,1693	0,1694
7	0,1487	0,1486	0,1505	0,1513	0,1520	0,1526	0,1531	0,1535
8	0,1317	0,1331	0,1344	0,1356	0,1366	0,1376	0,1384	0,1392
9	0,1160	0,1179	0,1196	0,1211	0,1225	0,1237	0,1249	0,1259
10	0,1013	0,1036	0,1056	0,1075	0,1092	0,1108	0,1123	0,1136
11	0,0873	0,0900	0,0924	0,0947	0,0967	0,0986	0,1004	0,1020
12	0,0739	0,0770	0,0794	0,0824	0,0848	0,0870	0,0891	0,0909
13	0,0610	0,0645	0,0667	0,0706	0,0733	0,0759	0,0782	0,0804
14	0,0484	0,0523	0,0559	0,0592	0,0622	0,0651	0,0677	0,0701
15	0,0361	0,0404	0,0444	0,0481	0,0515	0,0546	0,0575	0,0602
16	0,0239	0,0287	0,0331	0,0372	0,0409	0,0444	0,0476	0,0506
17	0,0119	0,0172	0,0220	0,0264	0,0305	0,0343	0,0379	0,0411
18		0,0057	0,0110	0,0158	0,0203	0,0244	0,0283	0,0318
19				0,0053	0,0101	0,0146	0,0188	0,0227

Продолжение таблицы Б.1

i	n							
	35	36	37	38	39	40	41	42
20						0,0049	0,0094	0,0136
21								0,0045
i	n							
	43	44	45	46	47	48	49	50
1	0,3894	0,3872	0,3850	0,3830	0,3808	0,3789	0,3770	0,3751
2	0,2684	0,2667	0,2651	0,2635	0,2620	0,2604	0,2589	0,2574
3	0,2334	0,2323	0,2313	0,2302	0,2291	0,2281	0,2271	0,2260
4	0,2078	0,2072	0,2065	0,2058	0,2052	0,2045	0,2038	0,2032
5	0,1871	0,1868	0,1865	0,1862	0,1859	0,1855	0,1851	0,1847
6	0,1695	0,1695	0,1695	0,1695	0,1695	0,1693	0,1692	0,1691
7	0,1539	0,1542	0,1545	0,1548	0,1550	0,1551	0,1553	0,1554
8	0,1398	0,1405	0,1410	0,1415	0,1420	0,1423	0,1427	0,1430
9	0,1269	0,1278	0,1286	0,1293	0,1300	0,1306	0,1312	0,1317
10	0,1149	0,1160	0,1170	0,1180	0,1189	0,1197	0,1205	0,1212
11	0,1035	0,1049	0,1062	0,1073	0,1085	0,1095	0,1105	0,1113
12	0,0927	0,0943	0,0959	0,0972	0,0986	0,0998	0,1010	0,1020
13	0,0824	0,0842	0,0860	0,0876	0,0892	0,0906	0,0919	0,0932
14	0,0724	0,0745	0,0765	0,0783	0,0801	0,0817	0,0832	0,0846
15	0,0628	0,0651	0,0673	0,0694	0,0713	0,0731	0,0748	0,0664
16	0,0534	0,0560	0,0534	0,0607	0,0628	0,0648	0,0667	0,0685
17	0,0442	0,0471	0,0497	0,0522	0,0546	0,0568	0,0588	0,0603
18	0,0352	0,0383	0,0412	0,0439	0,0465	0,0489	0,0511	0,0532
19	0,0263	0,0286	0,0328	0,0357	0,0385	0,0411	0,0436	0,0459
20	0,0175	0,0211	0,0245	0,0277	0,0307	0,0335	0,0362	0,0389
21	0,0087	0,0126	0,0163	0,0197	0,0220	0,0259	0,0288	0,0314
22	0,000	0,0042	0,0081	0,0118	0,0153	0,0185	0,0215	0,0244
23				0,0039	0,0076	0,0111	0,0143	0,0174
24						0,0037	0,0071	0,0104
25								0,0035

Приложение В

(справочное)

Критические значения W_α (вероятность $W < W_\alpha$ равна α)

Таблица В.1

n	α			n	α		
	0,01	0,05	0,10		0,01	0,05	0,10
3	0,653	0,727	0,789	27	0,894	0,923	0,935
4	0,667	0,748	0,792	28	0,896	0,924	0,936
5	0,686	0,762	0,806	29	0,898	0,926	0,937
6	0,713	0,788	0,826	30	0,900	0,927	0,939
7	0,730	0,803	0,838	31	0,902	0,929	0,940
8	0,749	0,818	0,851	32	0,904	0,930	0,941
9	0,764	0,829	0,859	33	0,906	0,931	0,942
10	0,781	0,842	0,869	34	0,908	0,933	0,943
11	0,792	0,850	0,876	35	0,910	0,934	0,944
12	0,805	0,859	0,883	36	0,912	0,935	0,945
13	0,814	0,866	0,889	37	0,914	0,936	0,946
14	0,825	0,874	0,895	38	0,916	0,938	0,947
15	0,835	0,881	0,901	39	0,917	0,939	0,948
16	0,844	0,887	0,906	40	0,919	0,940	0,949
17	0,851	0,892	0,910	41	0,920	0,941	0,950
18	0,858	0,897	0,914	42	0,922	0,942	0,951
19	0,863	0,901	0,917	43	0,923	0,943	0,951
20	0,868	0,905	0,920	44	0,924	0,944	0,952
21	0,873	0,908	0,923	45	0,926	0,945	0,953
22	0,878	0,911	0,926	46	0,927	0,945	0,953
23	0,881	0,914	0,928	47	0,928	0,946	0,954
24	0,884	0,916	0,930	48	0,929	0,947	0,954
25	0,888	0,918	0,931	49	0,929	0,947	0,955
26	0,891	0,920	0,933	50	0,930	0,947	0,955

Приложение Г

(справочное)

Значение величин $\frac{t_{\alpha}(\nu)}{\sqrt{n}}$

Таблица В.1

$\nu = n - 1$	$\frac{t_{0.90}(\nu)}{\sqrt{n}}$	$\frac{t_{0.95}(\nu)}{\sqrt{n}}$	$\frac{t_{0.99}(\nu)}{\sqrt{n}}$	$\nu = n - 1$	$\frac{t_{0.90}(\nu)}{\sqrt{n}}$	$\frac{t_{0.95}(\nu)}{\sqrt{n}}$	$\frac{t_{0.99}(\nu)}{\sqrt{n}}$
1	4,46	8,98	45,01	20	0,376	0,455	0,621
2	1,69	2,48	5,73	22	0,358	0,432	0,588
3	1,18	1,59	2,92	24	0,342	0,413	0,589
4	0,734	1,24	2,06	26	0,328	0,396	0,535
5	0,823	1,05	1,65	28	0,316	0,380	0,513
6	0,953	0,925	1,40	30	0,304	0,367	0,494
7	0,670	0,836	1,24	32	0,295	0,354	0,475
8	0,620	0,769	1,12	34	0,286	0,344	0,459
9	0,580	0,715	1,03	36	0,278	0,333	0,447
10	0,546	0,672	0,956	38	0,270	0,324	0,434
12	0,494	0,604	0,847	40	0,263	0,316	0,422
14	0,455	0,554	0,769	60	0,214	0,256	0,341
16	0,423	0,514	0,708	80	0,185	0,221	0,293
18	0,398	0,482	0,660	100	0,165	0,197	0,261

Учебное пособие

Анастасия Валерьевна Васильченко

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ISBN 978-5-7410-1814-9



9 785741 018149