

УДК 631.47

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И. М. ЯШИН, Н. Г. РАМАЗАНОВ, И. Ю. САВИН

(Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности)

Рассмотрены методология и использование компьютерных технологий (в рамках геоинформационных систем — ГИС) при агроэкологической оценке земельных ресурсов Южного Дагестана. Отмечено, что применение методов дистанционного зондирования и космических снимков, а также компьютерного анализа позволяет выйти на новый информационный уровень в агроэкологическом исследовании и познании ландшафтов.

Агроэкологическая оценка земель и земельных ресурсов является важной теоретической и практической проблемой. В ее основе лежат сведения о состоянии и специфике компонентов ландшафтов — почвах, растительности, рельефе, почвообразующих породах и поверхностных природных водах. Наряду с этим учитываются экологические особенности возделываемых культур, которые в принципе должны быть адаптированы к реальным географическим ландшафтам [4, 5, 11]. Указанный подход используется не только для оценки природных ресурсов Земли, но и весьма актуален при землеустройстве

и уточнении специализации сельскохозяйственного производства на ландшафтно-экологическом уровне [12].

Первые земельно-оценочные разработки¹, как известно, были выполнены В. В. Докучаевым и его учениками с целью установления качества земель и их стоимости в Нижегородской губернии. В дальнейшем отечественными и зарубежными специалистами были осуществлены важные и интересные исследования по картографии и бонитировке почв, уточнению природы их деградации и генезиса, созданию генетической классификации [6]. В этих изысканиях центральным звеном

В статье не ставится задача детального освещения данного вопроса.

является агроэкологическая оценка земель, позволяющая более объективно охарактеризовать экономические аспекты использования ресурсов страны и специфику внедрения адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Подобные исследования пока еще находясь на стадии апробации и разработки.

Накопленные материалы остаются несовершенными и неполными: например, только незначительная их часть трансформирована на современный язык информации и интегрирована на международном уровне. Существующие недоработки непосредственно сказываются как на аграрном секторе (небольшие инвестиции, низкий уровень сельскохозяйственного производства), так и на работе государственных органов (еще не принят Закон о земле, окончательно не установлена стоимость и гибкий налог на землю). Следовательно, агроэкологические материалы весьма необходимы для народного хозяйства России. Методологией их оценки занимаются, в частности специалисты Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева и Почвенного института им. В. В. Докучаева в системе Российской академии сельскохозяйственных наук. Отмеченным выше вопросам и посвящена данная работа.

Объекты и методы

Объектами исследований были одни из самых сложных ландшафтов территории Агульского, Табасаранского, Хивского и Дербентского районов Дагестана.

Основной фактический материал по разрабатываемой проблеме получен путем дешифрированных космических снимков М 1:1 000 000, подготовки и анализа на компьютере специальных картографических материалов (почвенных и иных), использования литературных источников и архивных документов по геологии, гидрографии, орографии, истории, землепользованию региона, а также при проведении собственных полевых изысканий (в маршрутах, на ключах и профилях типа катен — от подошвы склона до водораздела) и выполнении дополнительных аналитических исследований.

Для уточнения имеющихся сведений о состоянии и использовании земельных ресурсов Южного Дагестана применялись дистанционные методы и автоматизированное дешифрирование космических снимков. Также были использованы методы вариационной статистики, компьютерное моделирование ландшафтов с компьютерной корректировкой среднemasштабной почвенной карты на основе использования новых технологий географических информационных систем (ГИС).

Результаты и их обсуждение

Переход на агроэкологическую (комплексную) оценку земельных ресурсов требует качественно новой картографической основы, развития методов компьютерного моделирования и внедрения ГИС, усовершенствования приемов почвенно-агроэкологического картирования, освоения

компьютерных программ и моделей экологических рисков возделывания сельскохозяйственных культур, реализации универсальных проектов решений с учетом разнообразия социально-экономических особенностей общества и рыночной конъюнктуры. В этих условиях главная роль отводится картографическим материалам, полученным при использовании космических снимков и дистанционного зондирования территории в мелком масштабе ($M > I$: 300 000 — 1:1 000 000). Такие сведения весьма информативны, поскольку они отличаются одномоментным охватом огромных пространств Земли и комплексным отражением всех ландшафтных компонентов — растительности, почв, гидрографии, рельефа. С помощью увеличения мелкомасштабных карт можно составить специальные (тематические) карты среднего масштаба (M 1:200 000 — 1:300 000) — почвенные, геоморфологические. Еще сравнительно недавно подобные карты, как известно, создавались путем интеграции крупномасштабных карт сельхозпредприятий (M 1:10 000 — 1:50 000), а их качество (достоверность) в немалой степени зависело от опыта и квалификации специалистов.

Современные средства дистанционного зондирования включают: аэрокосмические фотоаппараты, тепловизоры, сканеры и телесистемы, трассирующие радиометры и радиолокаторы. Изображения, получаемые с помощью перечисленных приборов, отличаются основными параметрами: зоной спектра, масштабом,

разрешением по местности, фотометрической стабильностью. Эффективное использование дистанционных материалов базируется на их искусном дешифровании. В табл. 1 представлены особенности дешифрования аэро- и космических снимков на основе традиционных подходов. В наших исследованиях проводилось автоматизированное дешифрирование космических снимков, что заметно облегчало работу, повышало ее качество и сокращало затраты времени.

Методология агроэкологической оценки земель включала ряд этапов: 1) была создана геоинформационная база данных фактического состояния земельных ресурсов, 2) на основе изображения изучаемой территории на космических снимках осуществлялась корректировка имеющейся среднемасштабной почвенной карты региона, 3) проводилось компьютерное моделирование экологических рисков и создана серия не имеющих аналогов алгоритмов анализа, 4) с учетом сложившихся социально-экономических условий разрабатывался ряд сценариев экологически оптимального размещения основных видов овощных, плодовых и полевых культур на территории исследований, 5) создавался банк данных, в частности, карты оптимального размещения отраслей сельского хозяйства; они могут быть использованы как специалистами хозяйств региона, так и районными администрациями для определения перспективных направлений использования земель.

Последовательность дешифрования аэро- и космических фотоснимков
(традиционный подход, Б. В. Виноградов, 1984)

Этапы	Критерии	Результаты
Привязка	Признаки изображения (прямые и косвенные) Прямые — мега-, макро-, мезорельеф: Косвенные — поверхностные отложения и почвы	Точное географическое положение территории (ландшафта): север-юг. координаты
Обнаружение	Признаки изображения: тон, цвет, структура, текстура изображения	Обоснование ландшафтов и их компонентов: растительности, рельефа, почв, гидрографической сети
Опознавание	Признаки изображения: дешифровочные признаки конкретных компонентов ландшафта	Установление генезиса и состояния компонентов ландшафтов
Интерпретация	Внутриландшафтные взаимосвязи	Установление децелированных компонентов ландшафтов
	Агрофизиономические компоненты ландшафта и их взаиморасположение (текстура)	Диагностика динамических процессов (природных и антропогенных): их масштаб и направленность
	Резкие отклонения в типичных дешифровочных признаках компонентов ландшафтов	Выявление антропогенно измененных компонентов ландшафтов: степень нарушения, движущие силы, способы рекультивации
Экстраполяция	Признаки изображения и установленные по ним объекты, явления и процессы	Диагностика ландшафтов — аналогов: идентификация подобных объектов и процессов на иных участках

Охарактеризуем отмеченные этапы исследований.

Геоинформационная база данных

Анализ состояния и оценки земельных ресурсов того или иного региона является сложной комплексной задачей, при решении которой необходимо учитывать большое число факторов в их

взаимосвязи и взаимовлиянии. В последние десятилетия для этой цели более широко используются технологии ГИС [10, 13, 15]. Важным преимуществом ГИС является возможность проведения совместного анализа взаимосвязанных материалов о ландшафтах на основе законов геостатистики, математического моделирования и экспертных оценок. Примеча-

тельно, что подобная работа осуществлялась не для «точечных», а для пространственных объектов, например, элементарных выделов земель [3].

В рамках технологии ГИС при характеристике земельных ресурсов была создана компьютерная база данных (БД), содержащая фактическую информацию о состоянии земельных ресурсов территории исследований. Затем разрабатывались алгоритмы анализа информации БД, которые реализовались с использованием специального программного обеспечения — пакетов прикладных программ ГИС. При анализе земельных ресурсов Южного Дагестана использовали международный пакет прикладных программ ГИС II. WIS V.2.I.

Состав БД предопределялся как задачами исследований, так и спецификой природных и социально-экономических условий региона. Геометрическая часть БД включала в себя ряд «слоев» основной (базовой) информации о состоянии земельных ресурсов, а также карты, полученные непосредственно в ГИС путем анализа сведений о ландшафтах. Большая часть слоев геометрического блока БД сопровождается атрибутивными данными, необходимыми для осуществления компьютерного анализа. Базовыми «слоями» информации (созданной ГИС) являются: **цифровая модель рельефа (ЦМР), традиционно составленная почвенная карта, карты населенных пунктов, дорожной и гидрографической сетей, а также карта типов наземного растительного покрова.**

На основе технологий ГИС для БД были созданы дополнительно карты уклонов и местного климата, а также осуществлена коррекция почвенной карты с использованием материалов автоматизированной обработки космических снимков (КС). Анализ неоднородности изображения территории на КС осуществлялся отдельно для участков, лишенных растительного покрова (точнее, с проектным покрытием растительности менее 5—10%), и для участков, где проективные покрытия растительного покрова были более 10%. При этом считалось, что в первом случае влияние растительности на характер изображения минимально как же, как во втором — минимально влияние цвета поверхности почв. Разделение территории исследований на эти две част и было осуществлено на основе расчета одного из так называемых **вегетационных индексов** (NDVI — Normalized Digital Vegetation Index, de Jong (1994) по формуле (1):

$$NDVI = (T_1 - T_2) \cdot 100 / (T_1 + T_2) + 100 \quad (1)$$

(условные обозначения даны ниже)

Зачем для участка под растительностью был осуществлен синтез изображения территории на КС в естественном цветовом изображении. Оно использовалось при определении тестовых участков, послуживших в качестве эталонов при осуществлении классификационных, изображений (с использованием данных съемки в 3 зонах спектра электромагнитных волн: 0,5—0,6, 0,6—0,7 и 0,7—0,8 мкм). С помощью

экспертного анализа полученные классы были интерпретированы с учетом неоднородности растительного покрова и своеобразия почв.

В основе компьютерного обобщения неоднородности почвенного покрова участка без растительности лежали теоретические подходы, изложенные ранее [10]. В рамках рассматриваемых подходов, базирующихся на анализе специфики светоотражения почв, изображение региона исследований на КС в разных зонах спектра было пересчитано в псевдоизображение по формуле (2)

$$T_{nn} = T_n \cdot 100 / (T_1 + T_2 + T_3), \quad (2)$$

где T_{nn} — псевдотон изображения; T_n — тон изображения на снимке зоны спектра n (n — одна из зон спектра: $n = 1$ для зоны спектра 0,5—0,6 мкм; $n = 2$ — для зоны 0,6—0,7 мкм; $n = 3$ — для зоны 0,7—0,8 мкм); T_1 ; T_2 ; T_3 ; T_n — тоны изображения на снимках соответственно зон 1; 2; 3; n .

В результате пересчета было получено 3 псевдоизображения территории, которые и были использованы в качестве опорных для синтеза нового псевдоизображения по аналогии с процедурой получения изображения ландшафтов в натуральном цвете. На их основе диагностировали тестовые участки, применявшиеся затем для контролируемой классификации изображения (по методу ближайшего «соседа»).

Использованная теоретическая концепция позволила получить сведения о пространственном варьировании ряда важных генетических свойств почв: минерале-

гическом составе, типе гумуса, присутствии легкорастворимых солей, щелочности и других.

Практическая реализация описанных алгоритмов анализа также осуществлялась с использованием геоинформационного пакета программ типа IL WIS 2.1.

Корректировка среднемасштабной почвенной карты по космическим снимкам

Скорректированная почвенная карта отличается более высокой информативностью. Общее количество выделов по сравнению с традиционно составленной картой увеличилось в десятки раз при изменении среднего размера выдела от сотен до 4—8 га. Новая карта отражает фактическое состояние почвенного покрова территории.

Значительно выросла детальность выделов как среди горных, так и почв предгорий и равнин. В горных ландшафтах увеличение информативности новой почвенной карты связано с недостаточной изученностью ПП и, как следствие, со схематичностью его отражения на традиционно составленной почвенной карте. В ландшафтах предгорий и равнин Прикаспия, интенсивно используемых в сельском хозяйстве, уточнение почвенного покрова произошло в основном за счет более качественной картографии и возможностей, реализуемых при компьютерном анализе. В табл. 2—4 показано, как изменилось соотношение типов почв в контурах (на фрагменте карты) при корректировке среднемасштабной почвенной карты.

**Примеры корректировки площадей кошурок почв
на фрагменте почвенной карты до и после корректировки
по космическим снимкам Южного Дагестана**

Индекс почв на исходной карте		Индекс почв на скорректированной карте	Площадь, га
Гла	S ₁ = 14819 га, или 11,5% площади фрагмента	Глгтк	299
Гла		Вп	3427
Гла		Лт-ВП	4548
Гла		Глса	2095
Гла		Гблс	1185
Гла		Гла	3564
Глса	S ₂ = 66912 га, или 51,9% площади фрагмента	ВП	2384
Глса		Гла	3112
Глса		Лт-ВП	10651
Глса		Глса	43636
Глса		Гблс	6055
Глса		Гст	3458
Вгп	S ₃ = 8948 га. или 6,9% площади фрагмента	ВП	4089
Вгп		Гла	733
Вгп		Глса	2190
Вгп		Гблс	785
Вгп		Вгп	1151
К2-Кх3	S ₄ = 38332 га. или 29,7% площади фрагмента	К2	1272
К2-Кх3		К2.х	5534
К2-Кх3		К3х	23876
К2-Кх3		К3хэ	4503
К2-Кх3		К2хэ	627
К2-Кх3		К3	372
К2-Кх3		Ал	И3
К2-Кх3		К2-К3.Ч	2035
		Площадь общего фрагмента	120011 га, или 39,8% S _{общ.}

Агроэкологическая оценка пригодности земельных ресурсов. На первом этапе построения оценочных моделей были проведены анализ и отбор тех свойств земель, которые потенциально могут оказывать влияние на развитие и уро-

жайность сельскохозяйственных культур. Отбор свойств осуществляли по 3 основным блокам: климатическому, рельефному и почвенному. При этом набор параметров для оцениваемых типов использования земель не был

Индексы ночи к почвенной карте Южного Дагестана

Индекс	Типы почв
Гла	Горно-луговые альпийские
Гм	Горно-луговые торфянистые каменистые
Глса	Горно-луговые субальпийские
Го	Горно-лесные оноподзоленные
Гб	Горно-лесные бурые
Гбэ	Горно-лесные бурые эродированные
Глс	Горно-лесные неоподзоленные и слабооподзоленные
Глсэ	Гле (эродированные)
Гк	Горно-лесные коричневые
Гкэ	Гк (эродированные)
Гч	Горные черноземы
Гчэ	Гч (эродированные)
К1	Темно-каштановые
К1м	Темно-каштановые маломощные
К1э	Темно-каштановые эродированные
К1 мэ	Темно-каштановые маломощные эродированные
К2	Каштановые
К2м	Каштановые маломощные
К2х	Каштановые щебнистые
К2сн	Каштановые солонцеватые
К2мэ	Каштановые маломощные эродированные
К2хэ	Каштановые щебнистые эродированные
К2спэ	Каштановые солонцеватые эродированные
К3	Светло-каштановые
К3м	Светло-каштановые маломощные
К3х	Светло-каштановые щебнистые
К3сн	Светло-каштановые солонцеватые
К3хэ	Светло-каштановые щебнистые эродированные
Ал	Аллювиальные луговые
Аленек	Аллювиальные луговые солонцеватые и солончаковатые
Алвтз	Аллювиальные луговые вторично засоленные
Бл	Лугово-болотные
Бленск	Лугово-болотные солонцеватые и солончаковатые
Блвтск	Лугово-болотные вторично засоленные
Лек	Луговые солончаковатые
Ск	Солончаки
Скл	Солончаки луговые
Склб	Солончаки лугово-болотные
Скпт	Солончаки вторичные
ВП(вгп)	Выходы горных пород
Лт	Литоземы

**Изменение площадей контуров исходной почвенной карты после
корректировки обследованной территории Южно Дагестана**

Контур и индекс основных зональных типом почв на карте	До корректировки		После корректировки	
	га	% от всей площади	га	% от всей площади
Ал-бл	3359	1.04	1660	0.51
Аленек	11135	3.44	7609	2.35
Блснск	2606	0.80	736	0,23
Вгп	8948	2.76	15488	4,78
Гб	23010	7.10	43506	13,43
Гк	15666	4.86	21081	6,51
Гла	22429	6.92	15517	4,79
Гла-Гм	3725	1.15	362	0,11
Глс	73921	22.82	8978	2,77
Глса	69296	21.39	48223	14.88
Го	517	0.16	261	0,08
Гч	7327	2.26	3120	0,96
К1-Км2	26029	8.03	2280	0,70
К2-Кмк3	2457	0.76	131	0,04
К2-Кх3	38332	11.83	2035	0,63
Лск2	10668	3.29	9410	2,91
Ск	2450	0,76	3848	1,19
Ск-Ксн2	2105	0,65	76	0,02
Другие почвы	0	0,00	139659	43,11
В т. ч. деградированные	0	0,00	25019	7,72
Всего почв	323980	100.00	323980	100,0

постоянным, он варьировал в зависимости от экологических требований возделываемой культуры. Все отмеченные свойства были ранжированы по степени их оптимальности, а границы рангов отдельных свойств земель были индивидуальны для разных культур. Они устанавливались на основе экспертных оценок фондовых и литературных источников, а также собственных материалов исследований. В общем виде использовали следующую шкалу частных оценок отдельных свойств земель: оптимальные

(рейтинг 100); потенциально пригодные (75); ограниченно пригодные (50); непригодные (10).

В ранг оптимальных свойство попадало в том случае, если оно не лимитирует рост растения. Потенциально пригодными оценивались свойства, которые после их улучшения в результате зоотехнических или мелиоративных приемов могли переходить в ранг оптимальных. К ограниченно пригодным относились свойства, которые даже после улучшения не достигали оптимальных параметров, а остава-

лись пригодными, но не оптимальными. Непригодные свойства лимитируют возможности всех возделываемых культур до такой степени, что их рост практически не возможен в данных ландшафтах.

Аналогичную экспертную шкалу пригодности использовали для поблочной оценки климатических, рельефных и почвенных факторов (балл):

1. Оптимальные условия — 100;
2. Пригодные в условиях особой агротехники — 80;
3. Ограниченно пригодные — 60;
4. Ограниченно пригодные в условиях особой агротехники — 50;
5. Пригодные после коренной мелиорации — 40;
6. Пригодные после коренной мелиорации в условиях особой агротехники — 30;
7. Ограниченно пригодные после коренной мелиорации — 20;
8. Ограниченно пригодные после коренной мелиорации в условиях особой агротехники — 10;
9. непригодные — 0.

Отнесение земель к какому-либо классу пригодности осуществлялось на основе анализа результатов оценки оптимальности отдельных свойств земель, а также возможных материальных затрат, направленных на улучшение лимитирующих развитие культур свойств земель. На окончательном этапе применяли аналогичную шкалу рангов и рейтинговой оценки, а в качестве решающего правила для оценки земель использовали метод «максимальной лимитации».

Выбор типов землепользования осуществлялся с учетом масшта-

ба работ (исследования по уровню крупных административных районов, а не отдельных полей и хозяйств), а также на основе обобщения ландшафтных условий региона, истории становления и специфики существующей системы землепользования, особенностей традиционных типов ведения сельского хозяйства населениями регионом народностями. В результате было отобрано 17 агроэкологических типов использования земель: для возделывания пшеницы (1), ячменя (2), ржи (3), кукурузы на черном (4), картофеля (5), капусты (6), лука (7), моркови (8), винограда (9), яблони (10), груши (11), персика (12), абрикоса (13), сливы (14), черешни (15), вишни (16) и айвы (17). В список включены культуры, издавна возделываемые в данном регионе в промышленных масштабах или же в личных хозяйствах. Кроме того, рассмотрены культуры, которые еще не получили широкого распространения, но могут стать перспективными для внедрения. Анализировали пригодность земель под промышленное возделывание перечисленных культур в рамках стандартной для региона агротехники. В связи с принятым масштабом исследований моделирование пригодности земель осуществлялось в обобщенном виде, без учета специфики сортов.

Границы градаций свойств определяли на основе экспертной оценки, базирующейся на статистической информации о взаимосвязях урожайности культур со свойствами земель, а также путем использования оценочных шкал:

ПЭИ — почвенно-экологический индекс, модели плодородия и другие [4, 12].

Геоинформационное моделирование пригодности земель

На основе разработанных оценочных моделей в рамках геоинформационных технологий была построена серия специальных карт пригодности земель. Их компоновку осуществляли поочередно, в рамках изложенных выше подходов. Для каждого типа землепользования были построены карты «климатической», «рельефной» и «почвенной» пригодности, а также интегральная карта пригодности земель.

Анализ пригодности земель по климатическим условиям возделывания культур показал, что больше всего климат региона подходит для возделывания плодовых культур. Так, более 70% площади земель без ограничений по климату пригодно для возделывания сливы и вишни, около 30% — для выращивания яблони, абрикоса, черешни и айвы. Из однолетних культур) оптимальные по климату земли существуют лишь для пшеницы (около 10% к территории исследований) и ячменя (17,5%). Для остальных однолетних культур оптимальных по климатическим условиям земель в регионе не установлено, в той или иной степени рост культур лимитируется климатическими условиями. В наименьшей степени они подходят для возделывания картофеля и капусты (максимальный рейтинг пригодности определен

на уровне 50). Одновременно практически для всех культур 10% территории полностью непригодно по климатическим условиям. Максимальное количество не пригодных по климату земель существует для возделывания картофеля, капусты, кукурузы, лука, груши, персика и айвы.

Большая часть исследованной территории лежит в горной местности. В связи с этим наряду с климатическими условиями возделывание культур в значительной степени лимитируется труднодоступностью и рельефом (уклонами местности и экспозицией). Так, рельефные условия (экспозиция, крутизна склонов) для возделывания зерновых пригодны без ограничений, для многолетних плодовых культур — около 34% площади, пропашных культур и овощей — 28%. Около 10% площади земель региона полностью не пригодно под многолетние плодовые насаждения, около 25% — под однолетние сельскохозяйственные культуры.

Почвенные условия региона наиболее благоприятны для возделывания однолетних культур. Так, около 28% площади территории пригодно без ограничений для возделывания зерновых, капусты и лука. Нет почв, пригодных без ограничений для возделывания картофеля, абрикоса, сливы, вишни и черешни. Более 70% территории практически полностью не пригодно для возделывания яблони, груши и айвы, около 60% — для винограда, персика, абрикоса и черешни. Под зерновые полностью не пригодно около 12% территории, под

остальные однолетние — около 17%.

Сопряженный анализ пригодности земель по климатическим, рельефным и почвенным условиям позволил получить интегральную оценку пригодности земель

Южного Дагестана под каждую из анализируемых культур. Несовпадение ареалов земель пригодности без ограничений по климату, рельефу и почвам выразилось в низкой интегральной пригодности земель (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Интегральная оценка пригодности ландшафтов Южного Дагестана
(площадь пригодных земель, % к общей площади)

Тип использования земель	Рейтинг пригодности								
	100	80	60	50	40	30	20	10	0
1	0.7	7.1	2.5	16.9		33.1		1.4	38.3
2	0.8	4.0	5.5	16.9		33.1		1.4	38,3
3		6.3	4.0	16.9		33.1		1.4	38.3
4		1.7	3.9	9.4			5.2	4.9	74.9
5				2,9	4.6		3.0		89,5
6					6.9	13.3			79,8
7		2.9	5,1	19.2					72,8
8	0.1	2,9	5.0	41.6	10.2				40,2
9	0.3	10,5	9.8	15.8	11.9		0.7	0.7	50.3
10	0.2	2.9		3.3	18.9		2.8		71.9
11	0.1	1,5	0.3	3.2	14.4				80,5
12	0,1	20,2	5,3	7.7	0.8				65,9
13		26.1	1.4	8.6	0.1				63,8
14		27.3	11.0	10,2	0,1	11.8			39.6
15		24.7	0.9	7.7	0.8				65,9
16		26.3	1.4	8.5	1.3	13.8			48.9
17	0,2	1.7		3,2	18.1				76,8

Полученные на данном этапе исследований результаты отражают агроэкологический потенциал земель в целом, но при этом не учитываются возможные экологические последствия от внедрения приемлемых типов землепользования и современных технологий. Для их учета была разработана серия компьютерных моделей: это так называемая оценка экологических рисков. Пока нами не учитывалась загрязненность ландшафтов эко-

токсикантами как одного из важнейших экологических рисков.

Компьютерное моделирование экологических рисков

Любая система землепользования так или иначе отражает ресурсный потенциал почв (и ландшафтов) и показывает, насколько эффективно используются, например, почвы (и соответственно земли) в экологически целесообразном направлении. Ресурсный потенциал почв является одним

из основных экологических показателей их качества (бонитета) и стоимости. Здесь возможны 3 ситуации. Первая — при полном соответствии ресурсному потенциалу конкретный тип землепользования будет наименее затратен, наиболее продуктивен и максимально экологически безопасен. Вторая — если тип землепользования соответствует ресурсному потенциалу земель, но используется он не полностью, то продуктивность угодий будет ниже потенциально возможной. Третья — при несоответствии или неполном использовании земель наблюдаются их деградация или же увеличение экономических затрат на поддержание природного равновесия агроэкосистемы [5, 12].

Развитие землепользования в Дагестане в известной мере опиралось на централизованное, административно-плановое управление, как и в России. Несоответствие внедряемых систем землепользования ресурсному потенциалу земель ежегодно компенсировалось дополнительными (дотационными) государственными вложениями для поддержания устойчивости агроландшафтов. При наличии таких вложений проблема детального учета ресурсного потенциала и качества земель не была столь острой и актуальной, как в условиях перехода к рыночной экономике. Из-за сокращения подобных инвестиций в последнее десятилетие (1989--1999 гг.) нарушалась устойчивость систем землепользования, не соответствующих ресурсному потенциалу земель,

а это привело к активизации процессов деградации земель и ухудшению их качества. Отмечено, что местами почвы из-за эрозии или полностью уничтожены, или утратили свои жизненно важные экологические функции.

Известно, что восстановление бонитета почв процесс очень дорогостоящий и длительный, а иногда просто невозможный. В ландшафтах Южного Дагестана можно выделить следующие типы деградации почв: водная эрозия и дефляция, вторичное засоление почвогрунтов, подтопление и переуплотнение, солифлюкция в горах, нарушение поверхностных горизонтов почв в результате вырубки леса и органических горизонтов из-за лесных пожаров; химическое загрязнение тяжелыми металлами и иными поллютантами. Типы деградации почв, которые потенциально могут встречаться в конкретном районе, определяются спецификой использования земель и особенностями ландшафтов. Так, при сельскохозяйственном использовании земель на территории Южного Дагестана в качестве основных и потенциально возможных факторов деградации почв нами рассматривались следующие: водная эрозия, вторичное засоление и заболачивание (избыточное переувлажнение) почв, а также их переуплотнение (включая обесструктурирование — распыление горизонта $A_{\text{пиль}}$ в частности, при дегумификации).

В качестве методического подхода для оценки экологических рисков была использована

методология оценки земель FAO, специфика которой изложена выше. Созданные алгоритмы оценки рисков были реализованы с помощью компьютерной программы ALES (Автоматизированная Система Оценки Земель), а затем результаты компьютерного анализа визуализированы с помощью ГИС. Преимуществом данной программы является то, что она не содержит готовых оценочных моделей, а позволяет даже не подготовленному в компьютерном отношении пользователю строить собственные экспертные системы оценки земель. В основе ALES лежит специальный язык программирования MUMPS (MUMPS..., 1985), с помощью которого создаются оценочные алгоритмы, реализуемые затем в виде так называемого Древа Принятия Решения (Decision Tree) (ДПР).

ДПР представляет собой многовариантную графовую систему, рассматривающую весь набор свойств и их градаций в исчерпывающих сочетаниях. В конце каж-

дой «ветки» ДПР приводится итоговый оценочный рейтинг или класс. Затем в ALES вводится табличная база данных оцениваемых выделов земель со значением их фактических свойств; компьютер обрабатывает введенные данные и выдает интегральную оценку выделов земель. Результаты анализа представляют либо в табличной форме, либо в виде картографического материала, максимально пригодного для использования в геоинформационных системах.

В табл. 6 отражены свойства земель, учитываемые при оценке экологических рисков.

Установлено, что заметная часть экологических рисков связана с возможностью активизации процессов эрозии почв. Почти на половине земель Южного Дагестана риск эрозионных процессов при их растениеводческом использовании экстремально высок и лишь на 12 — 15% территории рейтинговая оценка риска принимает минимальные значения.

Таблица 6
Свойства земель, учитываемые при оценке деградационных рисков (+)

Тип деградации	К-во осадков, мм	Уклон, град.	Гран. состав почв	УГВ	Щебнистость профиля	Содержание гумуса, %	Дренажный класс почв	Содержание солей в почве, ‰	Солонцеватость	Тип землепользования
Водная эрозия	+	+	+		+	+				+
Вторичное засоление							+	+		+
Вторичное заболачивание							+			+
Переуплотнение почв				+		+			+	+

В гораздо большей степени возможно возникновение процессов вторичного засоления и переувлажнения почв в ландшафтах Прикаспия.

Очень высокая вероятность активизации процессов вторичного засоления почв возможна лишь на 8,8% территории исследований и практически отсутствует почти на 90% земель данного региона.

Еще меньше в Южном Дагестане площадей земель с высокой вероятностью активизации процессов вторичного заболачивания почв (всего около 2%) и отсутствует более чем на 90% территории.

Площадь земель с экстремально низкой вероятностью возникновения переуплотнения на территории исследований составляет около 30%, а с экстремально высокой — около 10%.

После того как были получены карты вероятности возникновения частных экологических рисков, для каждой отрасли (овощеводства, садоводства и растениеводства) с помощью сравнения были построены карты интегральной оценки экологических рисков. При этом использовалось правило «максимума»: каждому из элементарных участков региона (пиксель на карте) присваивался рейтинг оценки, максимальный из всех рейтингов оценки отдельных типов деградационных рисков. Согласно полученным данным, более чем на 55% площади возделывание культур экологически рискованно и лишь на 5—10% — максимально экологически безопасно.

Агроэкологические модели размещения отраслей сельского хозяйства к ландшафтам Южного Дагестана

Ландшафты Дагестана весьма самобытны, динамичны и контрастны: здесь широко развиты горные, равнинные и антропогенно измененные аналоги. Они имеют различные возраст, структуру и специфику функционирования. Весьма интересна и история землепользования.

Возможные экологические последствия, которые могут возникнуть при внедрении тех или иных систем землепользования, до сих пор специалистами не рассматривались. Анализ пригодности земель под конкретный тип землепользования и возможность возникновения при этом неблагоприятных экологических последствий позволяют разработать определенные практические рекомендации по коррекции существующей системы землепользования изучаемого региона и приведению ее к оптимальному варианту, который полнее соответствует ресурсному потенциалу земель и наиболее рациональному природопользованию. Рассмотрим эти модели.

«Оптимальная» модель. В ландшафтах были выделены земельные участки, которые можно считать оптимальными для возделывания какой-либо из анализируемых культур. К ним относились земли, охарактеризованные самым высоким классом пригодности и с минимальными экологическими рисками.

Установлено, что на территории исследований площади

земель, оптимальные для возделываемых культур, очень малы (2,01%, или 6710 га). Наиболее крупный массив подобных земель расположен в западном Прикаспии — дельте р. Самура. Более мелкие массивы разбросаны по всей территории, по преобладающей их части приурочена к Мардакертскому и Хивскому районам. Большинство массивов почв и ландшафтов оказалось пригодными для возделывания нескольких культур одновременно. Отсутствуют оптимальные земли лишь для выращивания картофеля, капусты и винограда. Наибольшие площади, оптимальные по агроэкологическим свойствам земель, могут быть выделены для возделывания ячменя, персика, абрикоса, сливы и вишни. Лишь очень небольшая часть площади (2,01% к общей площади) может быть использована для промышленного производства сельскохозяйственной продукции при максимальной реализации их ресурсного потенциала без капитальных вложений и без необходимости противостояния экологическим рискам.

Построенная модель размещения отраслей сельского хозяйства является наименее затратной и наиболее продуктивной одновременно. В известной мере, это идеальный вариант модели. Созданная модель может служить базой для коррекции специализации отраслей отдельными хозяйствами региона, земли которых диагностированы как оптимальные. Уточнение схемы размещения культур и структуры угодий на ландшафтной основе позволит

сократить технологические расходы, снизить экологические риски и повысить полноту использования земельных ресурсов.

Модель «наилучшего типа использования земель». В рамках данной модели была построена карта размещения возделываемых культур в Южном Дагестане, которая основана на принципах поиска наиболее экологически безопасного и наименее затратного сценария ведения системы землепользования. С этой целью для всего региона были определены максимально пригодные и одновременно минимально экологически рискованные отрасли. В отличие от первой модели, где выделялись лишь оптимальные земли, во второй идентифицировался наилучший (по не обязательно оптимальный) тип землепользования. Рейтинги на карте оценки пригодности, так же как и на карте оценки экологических рисков, показывают, насколько свойства земель далеки от оптимальности: чем ниже величина рейтинговой оценки пригодности и чем выше величина рейтинга экологического риска, тем больше экономических и иных затрат требуется на их преодоление (нейтрализацию) и на компенсацию (улучшение) лимитирующих свойств земель. В рамках данной модели был построен сценарий размещения отраслей сельского хозяйства, при котором минимизировались затраты на преодоление как экологических рисков, так и на оптимизацию лимитирующих агроэкологических свойств земель.

Анализ результатов моделирования показывает, что, следуя

данной модели размещения отраслей овощеводства, плодородства и растениеводства, можно до 30% всей площади территории Южного Дагестана использовать под промышленное возделывание сливы или около 20% площадей отводить под персик, абрикос, черешню или вишню. Кроме получения данных о максимально пригодных площадях земель в рамках геоинформационных подходов была получена информация и о географии размещения массивов посадок (посевов) культур в рамках модели.

Модель «экологическая безопасность». Эта модель отражает такое размещение сельскохозяйственных культур, при котором достигается максимальная экологическая безопасность и только в этих условиях — максимальная пригодность; это наиболее экологически оптимальный вариант, но не наиболее продуктивный для Южного Дагестана.

При построении компьютерной карты для данной модели сначала были вычтены из анализа все земли, непригодные под ту или иную отрасль. Карты экологических рисков на отдельную территорию для каждой рассматриваемой отрасли были совмещены друг с другом. Затем для каждого элементарного участка земель (пиксель на карте) были определены отрасли, имеющие наименьшие экологические риски.

Установлено, что наибольшие площади в рамках данной модели могут быть отведены под посевы зерновых и сливовые сады, наименьшие — для возделывания кукурузы (на зерно) и картофеля.

Модель «максимальная продуктивность». Приоритет в этом варианте отдается достижению максимальной продуктивности. И лишь затем оценивается экологическая безопасность. Полученная в результате агроэкологического анализа карта отражает наиболее продуктивный вариант размещения возделываемых культур, который можно достигнуть путем дополнительных вложений, реализуемых на повышение качества земель (например, плодородие).

Результирующие карты были построены также путем совместного анализа карт пригодности для каждой культуры. При этом нами не анализировались регионы с высокими экологическими рисками (они принимались как непригодные в рамках данной модели). Построенная карта отражает размещение отраслей сельского хозяйства на территории исследований без учета степени экологических рисков (кроме названных выше районов с самыми высокими экологическими рисками). Максимальные площади можно в этом случае отводить под плодовые культуры и посевы зерновых. Последняя модель может быть использована для интенсификации агропромышленного комплекса республики Дагестан. Она также показывает, насколько высок производственный потенциал земель.

Производственный потенциал земли рассматривается как агроэкологический потенциал того или иного ландшафта, включающий, в частности, и плодородие почв. При этом не учитываются

материальные затраты, необходимые для поддержания устойчивости ландшафтов, преодоления экологических рисков и компенсации лимитирующих параметров. Таким образом, данный вариант моделирования направлен на максимальный выход сельскохозяйственной продукции при возможности дополнительных капитальных вложений.

В результате моделирования было установлено, что около 67% всей территории исследований непригодно ни под одну из возделываемых культур. Из оставшихся площадей 1/20 часть, или 6710 га земель, оптимальны для размещения отраслей сельского хозяйства. На остальной территории промышленное производство плодовых и иных культур ограничивается или неблагоприятными свойствами земель, или негативными ландшафтными условиями (см. табл. 5). В рамках трех последних рассмотренных моделей размещения сельскохозяйственных отраслей каждая из указанных культур в принципе может быть культивирована на территории изысканий. Варьируют лишь возможные площади возделывания и их местоположение в пределах конкретных ландшафтов (водоразделы, склоны, межрядовые депрессии).

Полученные материалы позволили создать Банк специальных карт по размещению сельскохозяйственных культур на территории Южного Дагестана в рамках 4 моделей, которые охватывают (в общем виде) основные

экологические и ландшафтные условия.

Картографический Банк (всего составлено 26 карт) может быть использован при принятии решений на государственном уровне по совершенствованию существующей системы землепользования (в т. ч. и по соотношению площадей угодий, структуры посевных площадей региона, использованию удобрений и мелиорации).

Банк специальных карт необходимо рассматривать лишь как систему рекомендаций по коррекции и экологической оптимизации размещения зональных отраслей сельского хозяйства. Таким образом, нами охарактеризован первый этап агроэкологической оценки качества земель. Конкретные землевладельцы могут получить дополнительную почвенно-экологическую информацию о типах своих земель и их особенностях: выбрать наиболее рациональный и оптимальный путь их использования, соответствующий сложившимся рыночным условиям с учетом лимитирующих агроэкологических факторов и антропогенной нагрузки на ландшафты (табл. 7).

Данная картина, конечно же, выглядит идеально. На практике полученные сведения могут быть востребованы прежде всего специалистами в области планирования и организации землепользования республики. Накопленные фактические данные будут использоваться для реализации проектов адаптивно-ландшафтного земледелия. Вместе с этим преду-

Таблица 7

Характеристика агроэкологических типов земель Южною Дагестана*

Ландшафты (группы)	Агроэкологические типы земель (преобладающие почвы и условия их залегания)	Использование земель в сельском хозяйстве	Лимитирующие агроэкологические факторы (влияющие на продуктивность сельскохозяйственных культур)
Зональные горные ландшафты:			
высокогорные	Альпийские, горнолуговые типичные среднесуглинистые на делювии углистых сланцев, слабоосвоенные, с уклонами местности от 5 до 30°	Локально как летние отгонные пастбища	Щебнистость профиля почв и его укороченность, выходы горных пород, крутые склоны, солификация, неблагоприятные климатические условия (криогенез), труднодоступность, расчлененность ландшафта
среднегорные	Горнолуговые, дерновые тяжелосуглинистые и другие почвы. Склоны 15—25°	Пастбища и локально сенокосы	Отсутствие на южных и юго-восточных склонах сплошного травянистого покрова, слабо развитая дернина, каменистость поверхности почв, крутые склоны, развитие водной эрозии. палы... оползни, осыпи, перевыпас скота
низкогорные	Горнолугово-лесные среднесуглинистые и другие почвы. Склоны 15—25°	Сенокосы и пастбища	Крутые склоны, развитие водной эрозии. палы... оползни, осыпи, перевыпас скота
Предгорные ландшафты	Бурые лесные тепличные легкосуглинистые и иные на дериватах известняков. склоны от 1 до 5°, реже 10°	Горное садоводство, растениеводство. Террасное земледелие (на фоне почвозащитных севооборотов)	Щебнистость профиля почв, его укороченность, активная водная эрозия почв, оползни, крутые склоны, дефицит влаги, антропогенная деградация
Ландшафты приморской низменности (вблизи западного побережья Каспия)	Каштановые легкосуглинистые (нередко солонцеватые), светло-каштановые карбонатные длительно осваиваемые. луговые солончаковые легкосуглинистые на равнинах, аллювиальные засоленные и заболоченные и другие	Овощеводство и растениеводство, садоводство и виноградарство	Засоление и вторичное заболачивание почв, ветровая эрозия и суховеи, легкой гранулометрической состав почв и грунтов, дефицит влаги, опустынивание и аридизация ландшафтов. импультверизация солей, избыток грунтовой влаги но депрессиям и понижениям

* Рассматриваемый подход к агроэкологической оценке земель, выделение агроэкологических групп и типов земель (и как следствие, к проектированию на следующих этапах ландшафтной организации территории на эколого-экономических принципах адаптивно-ландшафтных систем земледелия) может быть реализован лишь при наличии и на основе сочетания разномасштабных картографических материалов: от космических снимков до крупномасштабных карт сельскохозяйственных предприятий М 1:10000—25000.

смаатриваются уточнение (на специальных картах) и детализация агроэкологических типов земель и их комплексность (эколого-экономическая оценка). Все изученные ландшафты имеют своеобразный набор лимитирующих факторов, ограничивающих пространственное размещение сельскохозяйственных культур, их урожайность и качество продукции (и сырья).

Выводы

1. При помощи автоматизированных систем анализа и обработки изображений мелкомасштабных космических снимков (с использованием перспективных технологий ГИС) осуществлена корректировка среднemasштабной почвенной карты как основы для агроэкологической оценки земельных ресурсов Южного Дагестана.

2. Показано, что дистанционные методы исследования природных ресурсов позволили выйти на новый информационный уровень в агроэкологическом обобщении материала. При этом затраты времени на подготовку специальных карт природы, в частности почвенных, сокращаются в 3—5 раз и более. Одновременно повышается их объективность и достоверность, особенно в средне- и высокогорных ландшафтах, наиболее труднодоступных, динамичных и контрастных.

3. Создана компьютерная База данных о состоянии земельных ресурсов Южного Дагестана, которая, в частности, включает све-

дения о свойствах разных типов земель и специфике их сельскохозяйственного использования.

4. Выявлены лимитирующие агроэкологические факторы ландшафтов Южного Дагестана, которые учитывались как при выделении агроэкологических типов земель, так и при размещении полевых, плодовых и овощных культур, исторически возделываемых в регионе: пшеницы, ячменя, ржи, кукурузы (на зерно), картофеля, капусты, лука, моркови, винограда, яблоны, груши, персика, абрикоса, сливы, черешни, вишни и айвы.

5. Установлено, что 2/3 территории Южного Дагестана полностью не пригодны для большинства отмеченных выше культур. Лишь для таких культур, как пшеница, морковь, виноград, айва, яблоня, груша и персик, были найдены ландшафты, пригодные без ограничений, но их площадь оказалась весьма небольшой: 6710 га (2,01% всей площади). В наименьшей степени земли Южного Дагестана пригодны для возделывания картофеля, капусты, айвы и груши, а в наибольшей — для зерновых и сливы. При этом около 67% территории практически полностью не пригодны для выращивания таких плодовых культур, как виноград, персик, абрикос и черешня.

6. Разработаны алгоритмы вероятной активизации и возникновения процессов деградации в агроландшафтах за счет экологически нерационального использования ресурсного потенциала земель.

Научно-производственные рекомендации

Выполненные исследования позволили создать геоинформационную систему, которая может быть использована для решения конкретных агроэкологических задач.

1. Для моделирования (в том числе построения вероятностных сценариев) рационального размещения полевых, овощных, плодовых культур в зависимости от экологической и социально-экономической обстановки (как на уровне конкретных фермерских, акционерных и иных типов хозяйств, так и на уровне административных районов республики).

2. Для дальнейшей оценки ландшафтно-агроэкологического потенциала земель Южного Дагестана.

3. Для принятия обоснованных административными органами эколого-экономических решений с целью совершенствования исторически сложившейся системы землепользования и уточнения качества земельных ресурсов (в том числе их рыночной стоимости и налога за землю).

4. Для поиска и оценки новых экологически эффективных ландшафтов (при соблюдении научно обоснованных пропорций площадей между основными видами сельскохозяйственных угодий — лесами, пастбищами, пашней, сенокосами), что будет способствовать защите антропогенно используемых типов земель от их активной деградации (и даже опустынивания, например, в равнинах западного Прикаспия).

В решении указанных проблем агроэкологии важное место отводится методам дистанционного зондирования. Они позволяют точно и с наименьшими затратами выявлять как положительные, так и негативные аспекты воздействия антропогенеза на природно-территориальные комплексы и успешно осуществлять агроландшафтный мониторинг.

Совместное использование космических снимков с традиционными картографическими методами повышает экологическую информативность результатов изысканий с охватом огромных территорий и позволяет в будущем изучить межландшафтные связи и барьеры (потоки веществ и энергии).

Составление карт экологических условий (и рисков), по-видимому, является одним из перспективных направлений не только для использования аэрокосмических снимков и ГИС, но и оценки природных ресурсов (например, типов земель) в реальных географических объектах Земли (природные зоны, области, провинции), что чрезвычайно актуально при получении или обосновании имеющихся сведений о почвах, растительности, природных водах и антропогенных воздействиях на уровне государств и континентов Земного шара.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов Б. В.* Агрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. — 2. *Докучаев В. В.* Русский чернозем. — Собр. соч. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. — 3. *Каишанов А. Н.*

Лыков А. М., Кауричев И. С. Плодородие почв в интенсивном земледелии: теоретические и методологические аспекты. — Вести, с.-х. науки, 1983, № 12. 4. Карманов И. И., Фриев Т. А. Бонитировка почв на основе почвенно-экологических показателей — Почвоведение, 1982, №5, с. 13—21. — 5. Кирюшин В. И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. Пуццино, 1993. — 6. Классификация почв, М.: РАСХН, 1997. — 7. Петров В. В. Экономическое право России. М.: Изд-во БЕК, 1995. — 8. Рамазанов Н. Г., Савин И. Ю. Геоинформационное моделирование системы землепользования Южного Дагестана. — В сб.: Тезисы Междунар. конф. «Анализ систем на рубеже тысячелетий: теория и практика — 1998», М.: 1998, с. 204—205. — 9. Рамазанов И. Г. Агро-экологическая оценка земель Юж-

ного Дагестана. Автореф. канд. дис. М.: МСХА, 1999. — 10. Савин И. Ю. Дешифрирование почвенного покрова Центрально-черноземных областей по средне-масштабным космическим снимкам. Канд. дис. М.: 1990. — 11. Шатилов И. С. Принципы программирования урожайности. — Вестник с.-х. науки, 1973, № 3, с. 8—14. — 12. Шишов Л. Л., Карманов И. И., Дурманов Д. Н. Критерии и модели почвенного плодородия. М.: Агропромиздат, 1987. — 13. Chidly T. R. E., Egly I. Computerized systems of land resources appraisal for agricultural development/FAO. 1993. — 14. IL WIS 2.1. Reference guide — ITC, 1997. — 15. CIS awareness in agricultural research. Environment Information and Assessment Teen. Rep., UNEP, 1997, № 9, p. 66. — 16. MuMPS User Group Programmers reference manual. — MD, 1985.

Статья поступила 30 сентября 1999 г.

SUMMARY

Methodology and employment of computer technologies in agroecological evaluation of land resources are considered in the article.