

## Принципы организации проблемно-ориентированной системы ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова на основе дистанционного зондирования Земли

### Organization Principles of Problem-Oriented System for Retrospective Soil and Land Cover Monitoring on the Basis of Remote Sensing of the Earth

**Рухович / Rukhovich D.**

Дмитрий Иосифович

(landmap@yandex.ru)

кандидат биологических наук.

ФГБНУ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,

заведующий лабораторией.

г. Москва

**Ключевые слова:** мониторинг – monitoring; ретроспективный мониторинг – retrospective monitoring; данные дистанционного зондирования – remote sensing data; земельный покров – soil cover.

Разрыв временного ряда наблюдений за почвенно-земельным покровом России произошел в конце 80-х - начале 90-х гг. С этого же периода произошли большие изменения в количестве и качестве земель сельскохозяйственного назначения. Поскольку утрата непрерывного ряда данных делает невозможным классический мониторинг изменений почв и земель, то предложен метод ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова. Ретроспективный мониторинг основан на обработке десятков материалов дистанционного зондирования Земли разного времени и различных архивных материалов на каждый участок поверхности Земли. Для комплексной обработки разномасштабной, разновременной и разноплановой информации сформулированы основные принципы организации данных в проблемно-ориентированную систему. В результате удалось провести ретроспективный анализ в период с 2015 по 1968 гг. в М 1 : 10 000 и установить площади подвергнутые изменениям и причины изменений. Изменения в виде смены типа их землепользования в Азовском районе Ростовской области достигли 8% от площади всех сельскохозяйственных земель.

The time-series of soil and land cover observations in Russia was interrupted in the late 80's – early 90's. Since that time major changes in amount and quality of agricultural land took place. As the shortage of continuous data series makes classical monitoring of soil and land changes impossible, a method of retrospective soil and land cover monitoring is proposed. Retrospective monitoring is based on processing of dozens of Earth remote sensing data obtained during different periods, and various archival materials for every section of the Earth's surface. For complex processing of different-scale, alternative and diversified information, basic principles of data arrangement into a problem-oriented system were formulated. As a result, we managed to carry out a retrospective analysis over the period from 2015 to 1968 in scale 1: 10,000 and determine areas subjected to changes and reasons for these changes. Changes of agricultural land in its use type in the Azov District of Rostov Region have reached 8%.

### Введение

Под мониторингом можно понимать любую систему регулярных наблюдений. Регулярными для мониторинга являются наблюдения, объединенные единством объекта, места, параметров и методов исследования, если они проводятся с определенной периодичностью. Задача мониторинга – статистически обосновать момент, когда состоялось событие мониторинга – изменились свойства объекта мониторинга или

сам объект. Прогноз поведения объекта мониторинга, установление причин изменения свойств объекта или самого объекта делаются на основе мониторинга, но неотъемлемыми частями мониторинга не являются.

Традиционный мониторинг существует с момента его закладки и до того момента пока не поменяется объект, метод, место, параметры или период наблюдения. Поскольку традиционный мониторинг существует с определенного момента и развивается по мере увеличения времени его существования, то

такой мониторинг можно называть перспективным – направленным вперед в будущее по шкале времени. Ограничения перспективного мониторинга довольно очевидны. Если мы наблюдаем событие здесь и сейчас, до закладки мониторинга, то для мониторинга это событие не существует. Не существует, т.к. нет набора измерений состояния объекта до события и, следовательно нет статистического обоснования, что состояние изменилось.

Для того чтобы фиксируемое в настоящий момент явление стало событием мониторинга, необходимо раздвинуть временные рамки мониторинга на момент времени, предшествующий наблюдаемому явлению. Желательно установить время начала мониторинга не просто ранее события, а хотя бы на момент начала развития процессов, приведших в результате к наблюдаемому явлению – событию мониторинга.

Такое изменение временных рамок наблюдения в прошлое, если это вообще осуществимо, можно назвать ретроспективным мониторингом.

Цель данной работы – продемонстрировать возможность построения проблемно-ориентированной системы ретроспективного мониторинга земельного покрова (ЗП) на территорию России.

### **Объект исследования**

Азовский район Ростовской области России.

### **Материалы, использованные в работе, и временной диапазон исследования**

В работе используются почвенные карты на территории России с 1949 г. по 1992 г., землеустроительные материалы с 1880 г. по 1992 г., топографические карты с 1940 г. по 2011 г. и данные дистанционного зондирования (ДДЗ) с 1968 по 2015 г. Материалы собраны в 32 слоя ГИС, из них 22 слоя составили ДДЗ. Более подробное описание материалов составляет более 3 страниц и опубликовано ранее [1, 5, 6, 7].

В силу целого ряда причин и обстоятельств [3, 4, 10], непосредственно для мониторинга являются пригодными только ДДЗ. Остальные материалы не могут дать датировок наступления большинства событий мониторинга или начала изменений свойств объектов мониторинга. Карты и схемы являются дополнительными, справочными или калибровочными материалами для дешифрирования ДДЗ. Наличие ДДЗ на всю территорию исследования [1, 4, 6] с 1968 г. по 2015 г. определяет временные рамки ретроспективного мониторинга ЗП – 2015–1968 гг.

### **Методологические основы и термины исследования**

#### **Принцип актуализма [11].**

Применительно к ретроспективному мониторингу ЗП, принцип актуализма можно сформулировать так:

дешифровочные признаки ДДЗ актуальные здесь и сейчас, применимы для дешифрирования архивных ДДЗ любой давности.

#### **Принцип униформизма [2].**

Формулируется для данного исследования в виде утверждения, что дешифровочные признаки и приемы дешифрирования одинаковы для ДДЗ любых лет.

#### **Принцип занижения динамичности.**

При дешифрировании объектов существуют ошибки первого и второго рода, согласно терминологии теории информации. При ошибках первого рода, происходит пропуск цели. Т.е. событие мониторинга произошло, но не зафиксировано. Ошибки второго рода порождают ложную тревогу – фиксацию наступления событий там, где их нет. Подавить оба типа ошибок одновременно, согласно теории, невозможно. Обычно при калибровках и настройках системы ищется баланс, минимизирующий общую ошибку.

При имеющихся в наличии калибровочных данных, в рамках ретроспективного мониторинга ЗП оказалось невозможным достоверно вычислить ошибку второго рода. Т.е., допуская ложные тревоги, невозможно верифицировать их количество. В связи с этим, при дешифрировании любые сомнительные объекты трактовались как их отсутствие. Постулировалось, что пропуск цели лучше ложной тревоги.

#### **Качество создаваемых карт.**

Качество карт, создаваемых и используемых в работе, задается следующими базовыми принципами [8]:

1. Карта должна быть топологичной.
2. Карта должна быть геореференсированной.
3. Карта не должна противоречить ДДЗ.
4. Карта не должна противоречить цифровым моделям рельефа (ЦМР).
5. Карта не должна противоречить топографическим основам, если те в свою очередь не противоречат ДДЗ.
6. Карта может противоречить ранее созданным картам тогда и только тогда, когда есть обоснования причин внесенных изменений.
7. Различные тематические карты могут иметь не совпадающие между собой контуры тогда и только тогда, когда это вызвано разницей наземного расположения тематических нагрузок.

**Земельный покров** – поверхность планеты с указанием типа землепользования. Под типом землепользования подразумевается не форма собственности, а только варианты воздействия на поверхность почвы. Классификатор землепользования представлен в табл. 1.

**Поле (сельскохозяйственное поле)** – часть поверхности Земного шара, предназначенная для сельскохозяйственной эксплуатации, пригодная для однотипной сельскохозяйственной обработки, ограниченная естественными разделителями: дорогами, оврагами, реками, лесополосами, постройками и т.д.

Легенда-классификатор к карте землепользования

CLASS	Имя в легенде	Комментарии
1	Сельскохозяйственное поле, обрабатываемое	Обрабатываемый сельскохозяйственный участок
2	Сельскохозяйственное поле, обрабатываемое, орошаемое (фрегат)	Обрабатываемый сельскохозяйственный участок под круговым орошением типа «Фрегат»
3	Сельскохозяйственное поле, обрабатываемое, орошаемое (линейное орошение)	Обрабатываемый сельскохозяйственный участок под линейным орошением
4	Залежь	Под залежью мы понимаем поле или часть поля, которое не обрабатывалось на какой-то момент времени (причины не устанавливались).
5	Обрабатываемая западина	Часть поля, занимающая локальное бессточное понижение, с выраженными отклонениями в состоянии земельного покрова и культивируемой растительности (вплоть до полного угнетения), но не приводящими к остановке обработки поля или фрагмента поля как единого целого
6	Необрабатываемая западина	Часть поля, занимающая локальное бессточное понижение, с выраженными отклонениями в состоянии земельного покрова и культивируемой растительности (вплоть до полного угнетения), приводящем к остановке обработки поля или фрагмента пол как единого целого
7	Обрабатываемый участок овражно-балочной сети (ОБ)	Часть поля, принадлежащая овражно-балочной сети с выраженными отклонениями в состоянии земельного покрова и культивируемой растительности (вплоть до полного угнетения), но не приводящим к остановке обработки поля или фрагмента поля как единого целого
8	Необрабатываемый участок ОБ	Часть поля, принадлежащая овражно-балочной сети с выраженными отклонениями в состоянии земельного покрова и культивируемой растительности (вплоть до полного угнетения), приводящими к остановке обработки поля или фрагмента поля как единого целого
9	ОБ, не относящаяся к сельскохозяйственным полям (разделитель и т. д.)	Овражно-балочная сеть, учтенная при разбиении территории района на сельскохозяйственные поля
10	Лесополоса	Лесополоса
11	Садовая территория	Только территории промышленных садов. Садовые товарищества относятся к частным обрабатываемым участкам
12	Кустарники, редколесья, естественная древесная растительность и лесхозы	Кустарники, редколесья, естественная древесная растительность и лесхозы
13	Разделитель поля (не классифицируемый)	Участок между сельскохозяйственными полями или участками поля, не используемый под иные типы землепользования
14	Водохранилище под орошение	Водохранилище под орошение
15	Открытый канал и прилегающие территории	Искусственный канал, используемый для подачи воды под орошение, и прилегающие к нему территории

16	Природный водный объект и прилегающие территории	Природный водный объект и прилегающие территории
17	Рыбхоз и прилегающие территории	Рыбхоз и прилегающие территории
18	Заболоченная территория	Заболоченная территория
19	Полевая дорога (периодически запахииваемая)	Полевая дорога (периодически запахииваемая)
20	Постоянная грунтовая или асфальтовая дорога	Постоянная грунтовая или асфальтовая дорога
21	Хозяйственные объекты и прилегающие территории	Часть поля, отведенная для хозяйственной деятельности, то есть не обрабатываемая
22	Частные обрабатываемые участки	Как правило, бывшие сельскохозяйственные земли переданные частным огородным и садовым товариществам. Выделяются в противовес застроенным землям, так как большая часть этих территорий находится под возделыванием продовольственной продукции
23	Земли населенных пунктов	Земли населенных пунктов
24	Теплицы	Часть обрабатываемого поля, которое на какой-либо момент занимали теплицы. То есть теплицы непостоянные – временные. Постоянные теплицы не дешифрировались или относились к строениям
25	Иные земли (не классифицированные)	Иные земли

### Построение разновременных карт ЗП

Лучшим методом измерения изменчивости ЗП (мониторинга ЗП), является картографический метод [1, 3]. Для оценки изменчивости ЗП картографическим методом необходимо построить разновременные карты ЗП (рис. 1А). Такие карты создавались путем визуального дешифрирования ДДЗ. На картах было необходимо разделить земли, обрабатываемые и необрабатываемые. В этом большую помощь оказывают топографические, землеустроительные и почвенные карты. Карты разных сроков можно было бы создавать независимым дешифрированием. Но при последующем сравнении карт возникают области неопределенности. То есть появляются области пространства в результате пересечений границ контуров двух карт, которые обоснованы точностью дешифрирования и картографирования. На рис. 2А показан результат дешифрирования ЗП по космической съемке (КС) метрового разрешения, а на рис. 2Б аналогичный результат независимого дешифрирования КС 30-ти метрового разрешения. Рисунок 2В демонстрирует паразитические области пересечения результатов дешифрирования, которые не являются индикаторами изменений ЗП между сроками съемки первого и второго снимков.

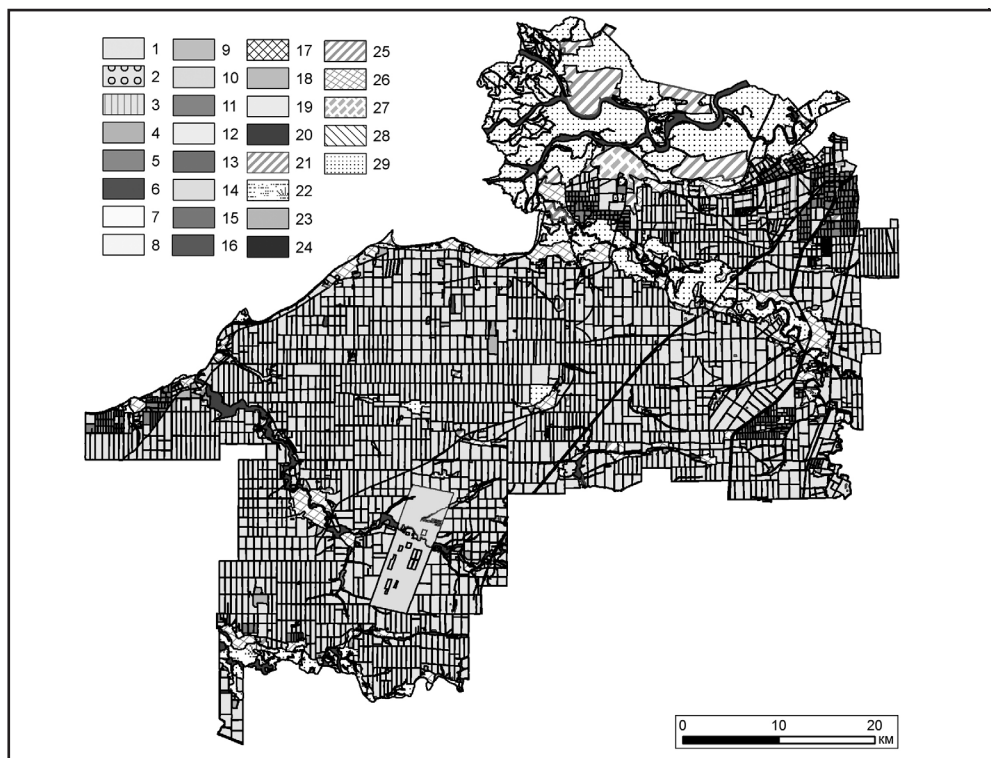
Чтобы этого избежать, контуры наносились по самым детальным и хорошо географическим материалам, независимо от года создания карты или мате-

риалов. В дальнейшем каждый выделенный контур сравнивался поочередно со всеми разновременными материалами, чтобы установить менялся ли он с течением времени. Если удавалось выявить, что контур не существовал на какой-то момент времени (в какой-то год), то сам контур не уничтожался и не перерисовывался, но создавалась запись в базе данных контура о его состоянии на этот момент времени. Если контур изменял свою конфигурацию, т.е. границы контура не совпадали с ДДЗ, то, опять же, исходный контур не перерисовывался, а добавлялась новая граница контура и возникали новые дополнительные контуры и записи в базу данных. Возникновение или изменения вносились по результатам дешифрирования, если изменение местоположения границ контуров составляло на ДДЗ более двух элементов разрешения. Границы контуров, выявленные на снимках низкого разрешения, наносились по ДДЗ низкого разрешения только тогда, когда не удавалось идентифицировать эти же границы ни на одном снимке с более высоким разрешением (рис. 2Г).

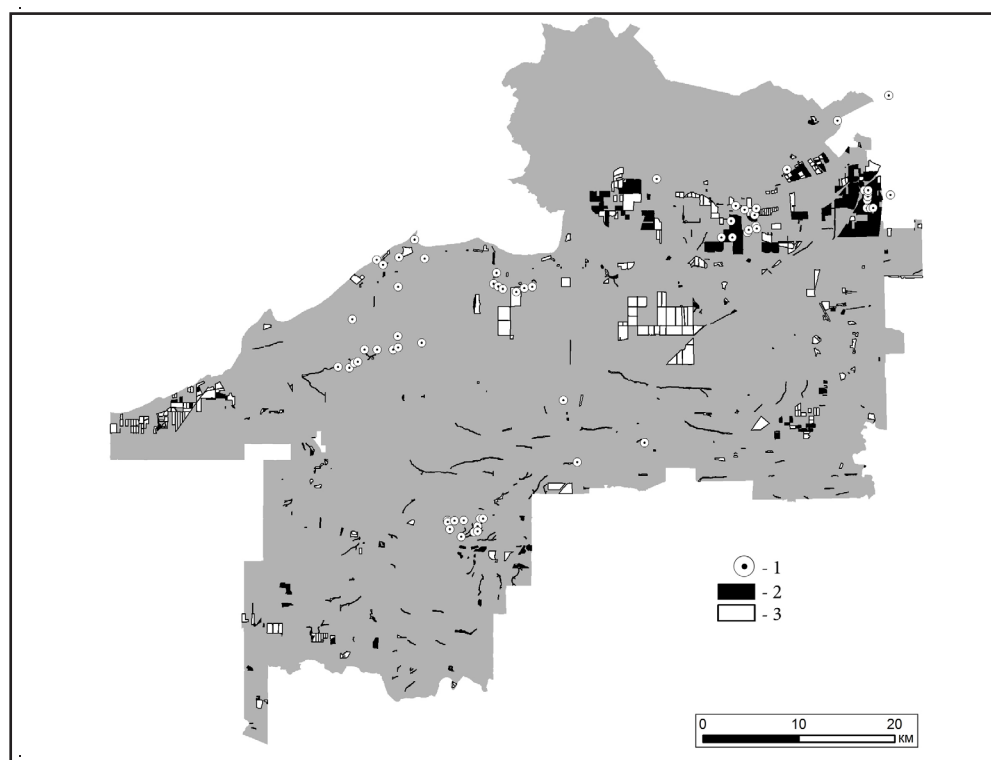
Результатом дешифрирования всех ДДЗ является интегральная карта ЗП за период исследования, содержащая все контура, которые дешифрировались хотя бы по одному снимку.

В ходе работы была разработана база данных к интегральной карте ЗП (табл. 2) со следующими полями:

1. ID – уникальный номер контура на карте земельного покрова со всеми выделенными объектами за все годы.



А



Б

Рис. 1. Карты землепользования, динамики землепользования и точки наземного обследования:  
 А – интегральная карта землепользования Азовского р-на Ростовской обл., легенда приведена в табл.1;  
 Б – карта динамики землепользования и точки наземного обследования при экспедиции: 1 – точки наземного обследования (экспедиция 2012 г.), 2 – участки динамики 2000–2010 гг., 3 – участки динамики 1990–2000 гг.

2. NUM\_1970 – номер контура на карте землепользования, соответствующей актуализации на период с 1968 по 1972 гг.

3. CLASS\_1970 – классификатор легенды землепользования к карте землепользования, соответствующей актуализации на период с 1968 по 1972 гг.

4. NUM\_1980 – ..., ... с 1978 по 1982 гг.

5. CLASS\_1980 – ..., ... с 1978 по 1982 гг.

6. NUM\_1990 – ..., ... с 1988 по 1992 гг.

7. CLASS\_1990 – ..., ... с 1988 по 1992 гг.

8. NUM\_2000 – ..., ... с 1998 по 2002 гг.

9. CLASS\_2000 – ..., ... с 1998 по 2002 гг.

10. NUM\_2010 – ..., ... с 2008 по 2012 гг.

11. CLASS\_2010 – ..., ... с 2008 по 2012 гг.

12. AREA – площадь контура.

13. PERIMETER – периметр контура.

Эта база данных заполнена для всех контуров карты землепользования. Приведенная таблица 2 является фрагментом базы данных и содержит записи для всех контуров, показанных на рис. 3 и 4. Интегральная контурная основа (карта) содержит 8 039 контуров (рис. 1А). Фрагмент карты с ID представлен на рис. 3И. К полям CLASS базы данных создана легенда (табл. 2).

Основной задачей было выявить все контуры, которые за исследуемый период (1968–2015 гг.) хотя бы один раз были вовлечены в сельскохозяйственную обработку. Эти контуры в свою очередь разделялись на части, в которых хотя бы один раз за исследуемый период сельскохозяйственная обработка не проводилась, была затруднена или не дала планируемого результата (урожая).

Как видно из структуры базы данных, блоки записей на каждый контур соответствуют пяти периодам:

1. 2008–2012 гг. В основе нанесения контуров – ортофотопланы, космическая съемка высокого разрешения, современные топографические карты масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000, архивные землеустроительные планы.

2. 1998–2002 гг. В основе коррекции – Landsat 7 ETM+.

3. 1988–1992 гг. В основе коррекции – Landsat 5 TM.

4. 1978–1988 гг. В основе коррекции – Landsat 2, 3, 5.

5. 1968–1972 гг. В основе коррекции – землеустроительные планы, топографические карты СССР, почвенные карты, данные разведывательных спутников США 60-х и 70-х годов.

Пример работы с разновременными ДДЗ для выявления времени возникновения разделителя полей, не отображенного на иных картографических материалах.

На фрагменте интегральной карты ЗП (рис. 3И), можно идентифицировать фрагменты с ID 7064, 7069, 7076, 7158, 7172, 8034 и 8035 как части единого поля с естественными разделителями, имеющими ID 7126, 7160, 7173, 7184 – лесополосы. Картографическая реконструкция такого поля представлена на рис. 3З. Эта реконструкция достаточно точно воспроизводит архивный землеустроительный план 1970 г (рис. 4Ж). Но на КС периода 2008–2012 гг. (рис. 3Ж, 4А) и особенно

2007 г. (рис. 3Е) легко дешифрируются три участка пашни (7064, 7158, 7172), которые обрабатываются независимо друг от друга. Фактически мы имеем три независимых поля неправильной конфигурации, где к естественным разделителям лесополосам добавились естественные разделители (7076, 8034) – переувлажненные участки овражно-балочной сети – мочары [6]. На землеустроительных, почвенных, кадастровых и топографических материалах любых сроков фрагменты с ID 7064, 7069, 7076, 7158, 7172, 8034 и 8035 являлись и являются единым пахотным полем (рис. 4Д-И). Возникает вопрос – являлись ли фрагменты с ID 7076, 8034 естественными разделителями всегда?

Дешифрирование КС периода 1998–2001 гг. (рис. 3Д) показывает несколько иную картину, чем дешифрирование периода 2008–2012 гг. Так фрагменты 7158 и 7172 обрабатываются совместно, как единое поле. Фрагмент 8034 еще не является разделителем полей, но уже не дает урожая сельскохозяйственных культур. Более ранние ДДЗ 90-х годов (рис. 3Г) позволяют дешифрировать единство обработки четырех фрагментов с ID 7064, 7158, 7172 и 8034. Фрагмент 8034 в этот период вообще не дешифрируется, фрагмент 7076 еще не является естественным разделителем полей, но уже не дает урожая сельскохозяйственных культур.

Анализ еще более ранней КС 1968 и 1975 гг. (рис. 3А,Б) позволяет с уверенностью сказать, что поле, состоящее из фрагментов с ID 7064, 7069, 7076, 7158, 7172, 8034 и 8035, введено в сельскохозяйственный оборот ранее 1968 г., как единое поле. Все фрагменты когда-либо были пашней, но фрагмент 7076 был участком пашни пониженной продуктивности.

Фрагмент 7076 перестал быть пашней к 1990 г., а к 2000 г. стал разделителем полей. Процессы переувлажнения начались до 1970 г, но активизировались к 1980 г. Можно считать установленной следующую последовательность событий мониторинга для фрагмента 7076: пашня, на которой получают урожай сельскохозяйственных культур; пашня, на которой получают пониженный урожай сельскохозяйственных культур; пашня, на которой не получают урожай сельскохозяйственных культур; необрабатываемый фрагмент поля, не препятствующий единообразной обработке поля; разделитель полей.

Развитие фрагмента 8034 аналогично развитию фрагмента 7076 со сдвижкой по времени на 10 лет.

Пример работы с базой данных интегральной карты ЗП для выявления времени возникновения разделителя полей, не отображенного на иных картографических материалах.

Аналогичное ретроспективное исследование можно провести и путем анализа исключительно карт ЗП и баз данных к ним.

Карты на каждый год (рис. 4А-Г) можно получить, используя команду dissolve или ее аналог. Эта команда убирает линию, разделяющую контуры, если в указанном столбце базы данных к контурам нахо-

Таблица 2

Фрагмент базы данных к интегральной карте землепользования

ID	NUM _1980	CLASS _1980	NUM _1990	CLASS _1990	NUM _2000	CLASS _2000	NUM _2010	CLASS _2010	AREA	PERIMETER
Рис. 3И	Рис. 33		Рис. 2Бб		Рис. 2Бв		Рис. 3В			
7064	5294	1	5294	1	5294	1	5294	1	94.485	4460
7069	6290	4	6290	4	6290	4	5294	1	5.260	1194
7076	6289	8	6289	8	6289	8	6289	8	11.483	3801
7158	8370	1	8370	1	8371	1	8371	1	7.369	1603
8035	8594	21	8370	1	8371	1	8371	1	0.780	347
7172	8370	1	8370	1	8370	1	8370	1	27.847	2222
8034	8370	1	8370	1	6289	8	6289	8	1.287	966
7147	5368	1	5368	1	5368	1	5368	1	89.128	6257
7159	5368	1	5368	1	6284	7	6289	8	2.524	2393
7178	5368	1	5368	1	6285	7	6285	8	0.308	413
7179	5368	1	5368	1	8592	1	8592	1	0.435	366
8036	5368	1	6289	8	6289	8	6289	8	1.101	602
7189	5385	1	5385	1	5385	1	5385	1	90.951	4353
7190	5385	1	5385	1	6283	8	6283	8	0.873	465
7192	8515	1	5388	1	5388	1	5388	1	134.210	5675
7193	8515	1	6275	7	6275	8	6275	8	9.508	4903
7194	8515	1	8515	1	8515	1	8515	1	60.524	5264
7035	5291	1	5291	1	5291	1	5291	1	57.925	3828
7142	5364	10	5364	10	5364	10	5364	10	2.468	1662
7160	5372	10	5372	10	5372	10	5372	10	1.903	1809
7182	5379	10	5379	10	5379	10	5379	10	3.238	1857
7184	5381	10	5381	10	5381	10	5381	10	2.894	1980
7185	5382	10	5382	10	5382	10	5382	10	1.726	1453
7195	5389	10	5389	10	5389	10	5389	10	3.016	2041
7186	5387	1	6274	25	6274	25	6274	25	17.010	2345
7203	5387	1	5387	1	5387	1	5387	1	185.218	5729
7068	5302	1	5302	1	5302	1	5302	1	87.060	4960
7126	5356	10	5356	10	5356	10	5356	10	2.706	1963
7161	8368	25	8368	25	8368	25	8368	25	0.963	396
7173	5378	10	5378	10	5378	10	5378	10	1.250	814
7191	5386	10	5386	10	5386	10	5386	10	5.157	3218
	Рис. 4Ва						Рис. 4Бб			
276	19298	8001	21	8001	21	8001	21	8001	21	276
6	3145	8008	1	8001	21	8001	21	8001	21	6
50	3070	8008	1	8008	1	8008	4	8008	4	50
35	3175	8008	1	8008	1	8009	23	8009	23	35
22	2651	8008	1	8009	23	8009	23	8009	23	22
1574	24287	8009	23	8009	23	8009	23	8009	23	1574
					Рис. 4Ба		Рис. 4Бб			
22	2066	243	11	243	11	243	11	243	1	22
23	1995	303	11	303	11	303	11	303	1	23
16	1722	304	11	304	11	304	11	304	1	16

0	347	6552	10	6552	10	6552	10	6552	10	0
1	1173	6552	10	6552	10	6552	10	243	1	1
1	992	8460	10	8460	10	8460	10	243	1	1
9	1408	8461	11	8461	11	8461	4	243	1	9
1	1322	8462	10	8462	10	8462	10	304	1	1
	Рис. 4Аа				Рис. 4Аб					
1	1468	1784	10	1784	10	7082	13	7082	13	2470
1	937	1784	10	1784	10	1784	10	1784	10	2471
0	321	1784	10	1784	10	7083	10	7083	10	2481
76	3993	1820	1	1820	1	7081	2	7081	2	76
3	2095	1961	10	1961	10	7081	2	7081	2	3
1	586	1961	10	1961	10	1961	10	1961	10	1
101	4277	8595	1	8595	1	7081	2	7081	2	101
4	2939	8596	10	8596	10	7081	2	7081	2	4
	Рис. 5Б		Рис. 5В		Рис. 5Г		Рис. 5Е			
123	5253	1538	1	1538	1	1538	1	1538	1	123
18	2787	1538	1	8597	5	8566	6	8566	6	18
2	2139	1546	10	1546	10	1546	10	1546	10	2
133	5271	1635	1	1635	1	1635	1	1635	1	133
5	2729	1635	1	1635	1	1635	1	8458	5	5
155	5122	1800	1	1800	1	1800	1	1800	1	155
4	1359	1800	1	1800	1	8567	5	8566	6	4
81	3877	1860	1	1860	1	1860	1	1860	1	81
6	1359	1860	1	1860	1	8568	5	8566	6	6
85	5099	8566	6	8566	6	8566	6	8566	6	85

дится идентичная информация на оба соседствующих контура. Соответствие базы данных и фрагментов карт, представленных на иллюстрациях к статье, даны в табл. 2. В данном случае получены пять карт с полным совпадением границ контуров, если они не изменяются согласно обоснованной дешифрированием динамике.

Рассмотрим контур 8370 (поле NUM\_1980, табл. 2). На этот номер приходится три записи в базе данных, это означает, что контур был одним единым контуром. Тип землепользования – 1, что согласно легенде означает сельскохозяйственное поле обрабатываемое. Три записи означают, что поле в дальнейшем (90-е годы или позже) переставало быть целостным. На 1990 г. номер и тип землепользования не менялись, но на 2000 г. номеру 8370 соответствуют уже три номера – 8370, 6289 и 8371. Три разных номера указывают, что поле утратило свою целостность. Номер 6289 на 2000 г. (NUM\_2000) имеет легенду 8 – необрабатываемый участок овражно-балочной сети. Контур с номерами 8370 и 8371 на 2000 г. согласно классификатору 1 не изменили типа землепользования – сельскохозяйственное поле обрабатываемое. Таким образом, однородный до 1990 г. участок поля (рис. 4В) был разделен сформировавшейся по потяжине переувлажненной территорией на два фрагмента (рис. 4Б). Отметим, что формирующийся переувлажненный участок в 2000 г. еще не препятствует однородной обработке контуров 8370 и 8371 (рис. 4Б), в то время

как к 2007 г. оба участка обрабатываются отдельно (рис. 4А). Но и этим полная динамика контура 8370 не исчерпывается, так как в поле NUM\_1990 на этот номер приходится не три, а четыре записи. Это может означать, что часть контура до 1990 г. имела легенду, отличную от 1, то есть не была обрабатываемым сельскохозяйственным полем. Это контур в поле NUM\_1980 – 8594 (рис. 4Г) с классификатором 21 – хозяйственные объекты. Действительно с 70-х до конца 80-х гг. этот участок был отведен под полевой стан, распаханый к 1990 г. Участок 8594 вошел в состав участка 8370, а затем 8371. Таким образом, однородный участок сельскохозяйственных угодий под номером 8370 на 1990 г., состоит из четырех отдельных участков за период с 1968 по 2012 гг. с уникальной историей изменения землепользования.

Динамика участка NUM 8370 является лишь частью изменения сельскохозяйственного поля, которому он принадлежит. Исходно, согласно схеме землеустройства 1970 г. и материалов ДЗ 1968 г., это поле включает в себя следующие участки с ID – 7064, часть 7069, часть 7076, 7158, 7172, 8034, 8035 (рис. 3И). То есть сельскохозяйственное поле, состоящее из восьми динамичных частей, исходно введено в севооборот как однородное (рис. 3З). Контур с ID 7076 (NUM\_1980 6289) является балкой «Конопляная», лишь часть которой попадает на данное сельскохозяйственное поле. Эта балка отмечена на топографических картах и прослеживается



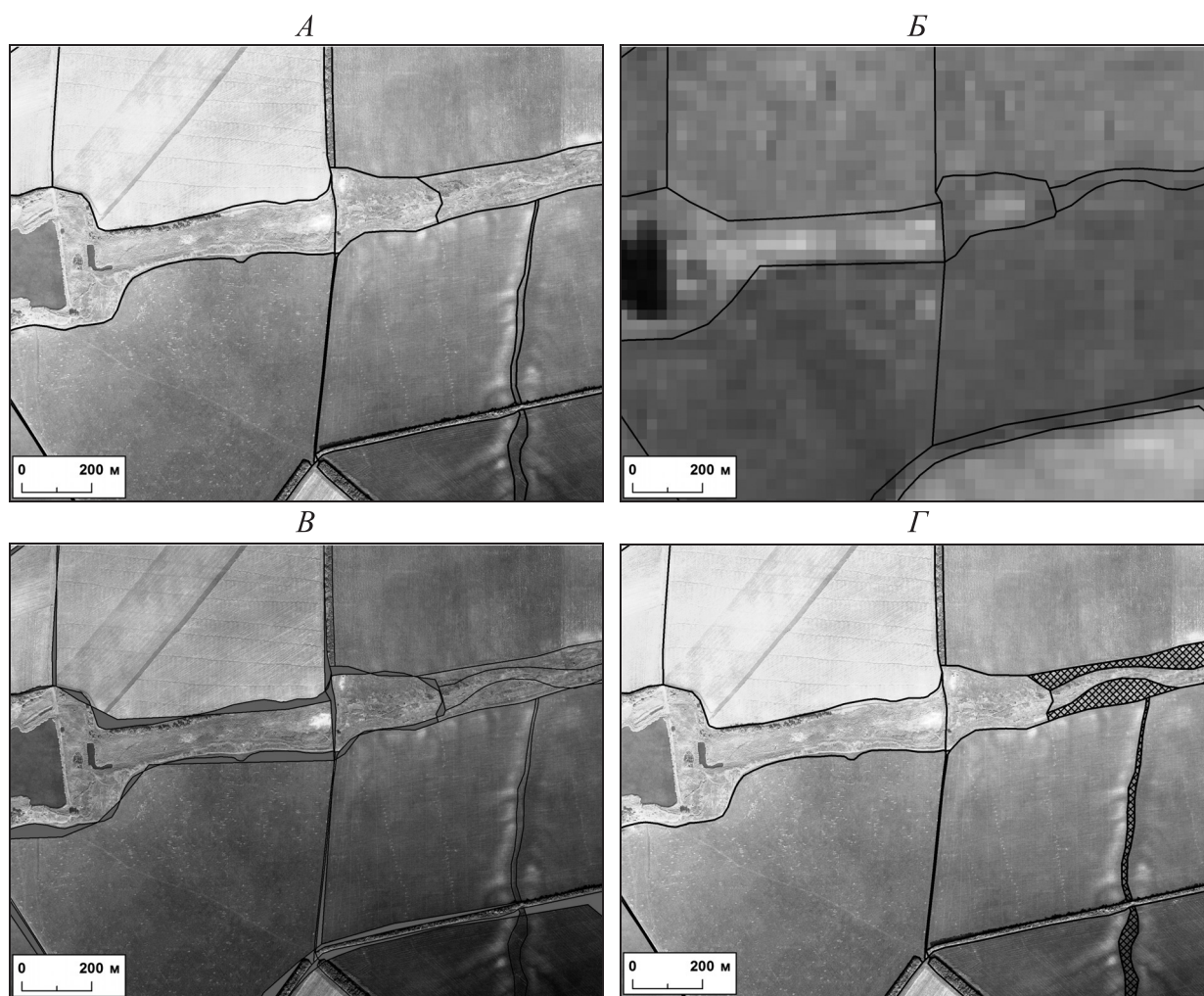


Рис. 2. Области неопределенности при дешифрировании космических снимков:

А – дешифрирование космического снимка с разрешением 1 м;

Б – дешифрирование космического снимка с разрешением 30 м;

В – области неопределенности при сравнении дешифрирования космических снимков с разрешением 1 и 30 м (показаны сплошным серым цветом);

Г – карта динамики на космическом снимке (динамичные территории показаны штриховкой)

на всех материалах ДЗ. Но на схеме землеустройства эта балка появляется только в 80-х годах (рис. 4З). Следовательно, эта балка распаивалась в течение десятков лет, хотя и не давала урожая, но входила в общую обрабатываемую площадь поля (рис. 4Д-И). После 80-х годов балка стала препятствовать обработке не только данного поля, но и поля NUM\_1980 – 8515 (рис. 4В). К 2000 г. балка стала естественным разделителем между участками NUM\_1980 – 5294 и NUM\_1980 – 8370 (рис. 4Б). К 2010 г. балка разделила участки NUM\_2010 5294, 8370, 8371, 5388, 8515 (рис. 4А). Все эти участки обрабатываются независимо друг от друга, хотя исходно составляли только два поля (рис. 4Г).

Аналогичная ситуация но на ранней стадии происходит с полем NUM\_1980 – 5368. Та же балка «Коно-

пляная», развиваясь на нем, уже вывела из сельскохозяйственного производства часть поля (рис. 4А), но может в дальнейшем и разделить поле на части.

Большая часть вышеописанной изменчивости обусловлена почвенным покровом, так как является следствием лугового и овражно-балочного процессов. Но присоединение к участку NUM\_1980 – 5294 участка сенокоса NUM\_1980 – 6290 обусловлено исключительно сокращением поголовья скота.

В целом по району вариантов динамики землепользования значительно больше (табл. 3). Многие варианты динамики имеют чисто антропогенные причины. Изменение землепользования, в свою очередь, может приводить к динамике ПП. На рис. 5Аа-б показано как вырубается лесополосы для установки временных оросительных систем типа «Фрегат». На рис. 5Ба-б

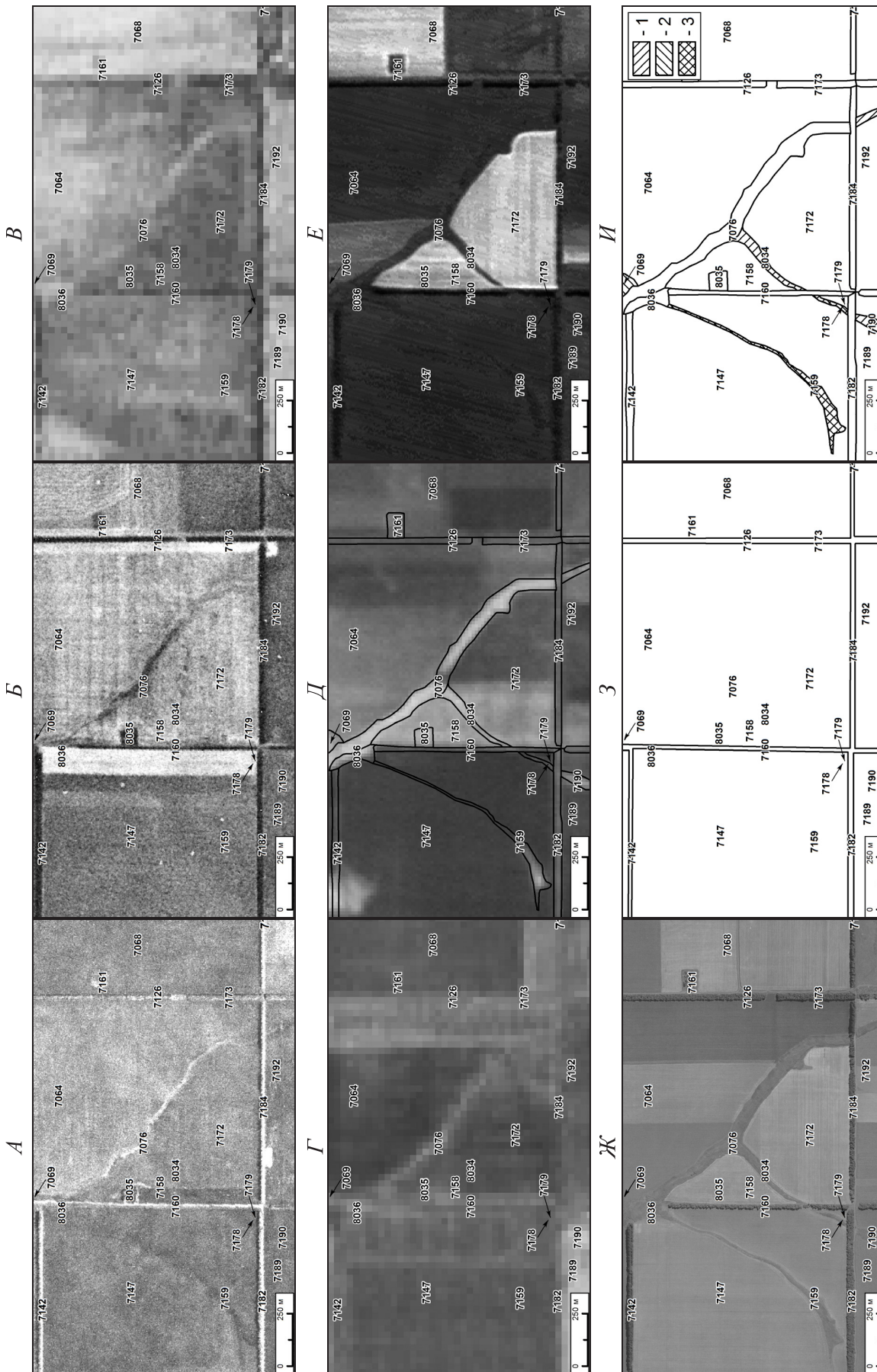


Рис.3. Работа с разновременными ДДЗ (на всех рисунках приведены ID интегральной карты ЗП); А – съемка разведывательного спутника США 1968 г. 2,8 м; Б – съемка разведывательного спутника США 1975 г. 4 м; В – снимок Landsat 1984 г. 30 м; Г – снимок Landsat 1990 г. 30 м; Д – снимок Landsat 2000 г. 15 м; Е – снимок IRS 2007 г. 6 м; Ж – ортофотоплан 2008 г. 0,6 м; З – картографическая реконструкция схем полей на момент их первоначальной разметки до 1968 г.; И – интегральная карта динамики почвенно-земельного покрова с ID фрагментов (табл.2). 1 – участки динамики 1990 – 2000 гг., 2 – участки динамики 2000–2010 гг., 3 – участки, динамичные на протяжении периода исследований (1990–2010гг.).



## Характеристика типов динамики землепользования

Вариант динамики по CLASS	Описание	S динамики, га	
		1990–2000 гг.	2000–2007 гг.
1-7, 11-7	Формирование на сельскохозяйственном поле обрабатываемого участка ОБ	190.06	46.65
1-8	Формирование на сельскохозяйственном поле необрабатываемого участка ОБ	136.57	8.03
1-5	Формирование на сельскохозяйственном поле обрабатываемой, замкнутой с поверхности западины	13.33	3.90
1-6	Формирование на сельскохозяйственном поле необрабатываемой, замкнутой с поверхности западины	10.16	0.00
5-6	Ухудшение состояния участка обрабатываемой западины, повлекшее прекращение сельскохозяйственной обработки	107.75	1.43
6-5, 6-1	Улучшение состояния участка необрабатываемой западины, повлекшее вовлечение в сельскохозяйственную обработку	2.09	33.21
7-8	Ухудшение состояния обрабатываемого участка ОБ, повлекшее прекращение сельскохозяйственной обработки	268.67	87.26
8-7	Улучшение состояния необрабатываемого участка ОБ, повлекшее вовлечение в сельскохозяйственную обработку	0.00	23.98
1-2, 1-3	Появление орошения (различных видов) на ранее неорошаемых сельскохозяйственных полях	3097.26	1039.86
1-11	Перевод сельскохозяйственного поля в садовые территории	491.89	31.60
11-1	Ликвидация садовых территорий с последующей сельскохозяйственной обработкой участка	1611.49	2947.86
11-21, 11-22, 11-23	Ликвидация садовых территорий без последующей сельскохозяйственной обработки участка (заброс, застройка)	81.19	5.34
10-1, 10-2	Вырубка лесополос с последующей сельскохозяйственной обработкой участка	6.44	2.66
10-4, 10-7, 10-8, 10-13, 10-20, 10-22	Вырубка лесополос без последующей сельскохозяйственной обработки участка	8.16	74.16
1-10, 11-10	Посадка лесополос	10.23	0.00

1-4, 11-4, 1-12, 1-13	Прекращение обработки сельскохозяйственного поля (залежь)	699.77	510.01
4-1, 4-11, 12-1, 18-1, 25-1	Вовлечение в сельскохозяйственные территории, ранее не обрабатывавшихся (в том числе территорий, на определенный момент диагностированных как залежь)	987.03	548.49
1-14, 1-15, 1-19, 1-20, 1-21, 1-22, 1-23, 1-24, 3-21	Прекращение обработки сельскохозяйственного поля с последующей застройкой участка хозяйственными (в том числе дороги) или жилыми объектами	2540.88	43.80
19-1, 20-1, 21-1, 22-1	Вовлечение в сельскохозяйственные территории, ранее использовавшихся для хозяйственных (в том числе дороги) или жилых объектов	92.28	34.12
4-22, 12-20	Необратимый вывод земель	27.91	25.24
21-12, 21-25, 25-16, 25-20	Иная динамика	60.04	39.82
Общая $S$ территорий, подверженных динамике, га		10443.22	5507.40
Динамичных территорий от $S$ обрабатываемых земель, %		5.35	2.82

показано как расширяется пашня путем раскорчевки как залежи, так и лесополос. Рис. 5Ва-б демонстрирует необратимое выбытие из сельскохозяйственного оборота земель в результате застройки. Номера и классификаторы участков динамики в табл. 2.

Методы, применяемые в данной работе, позволяют описать и поведение достаточно сложных объектов, каковыми являются локальные бессточные блюдцеобразные западины. Такие объекты проявляют себя в виде пульсации их краевых границ, так как время от времени угнетение сельскохозяйственных культур в зоне влияния западины то уменьшается, то увеличивается (рис. 6).

### В терминах ретроспективного мониторинга

Вернемся к поставленной задаче – ретроспективному мониторингу. Объектом наблюдения является ЗП. Методами являются дешифрирование ДДЗ и картографический метод. Место исследования – сельскохозяйственные земли Азовского района. Наблюдаемыми параметрами наблюдения являются использование земель под пашню и фрагментация полей. Период наблюдения установлен в 10 лет. Т.е. соблюдены все условия наблюдения, и они являются регулярными. Можно признать, что регулярные наблюдения с 2015 по 1968 гг. являются мониторингом, а поскольку направлены в обратную сторону по оси времени от момента заложения, являются ретроспективным мониторингом.

### Оценка динамичности земельного покрова

Если мониторинг не точечный, то по его системе наблюдения можно ответить на вопрос не только о времени наступления события мониторинга, но и площади распространения этого события. Площадной картографический метод, лежащий в основе данной работы, вполне может дать количественные ответы о площадях изменчивости ЗП. Для этого строятся карты динамики ЗП (рис. 1Б). На картах динамики в каждом контуре указывается какой тип землепользования каким типом сменился. Сводная таблица оценки динамичности района по трем срокам дана в табл. 3. Показано, что только за 20 лет с 1990 по 2010 гг. смена типов землепользования произошла на 8% территории, занятой сельскохозяйственными землями.

### Заключение

1. Проблемно-ориентированный подход позволил создать систему ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова.

2. Ретроспективный мониторинг позволил восстановить временной ряд изменчивости земельного покрова в период с 2015 по 1968 гг.

3. Основным методом для организации ретроспективного мониторинга на территорию России является дешифрирование архивных материалов дистанционного зондирования Земли на принципах актуализма.

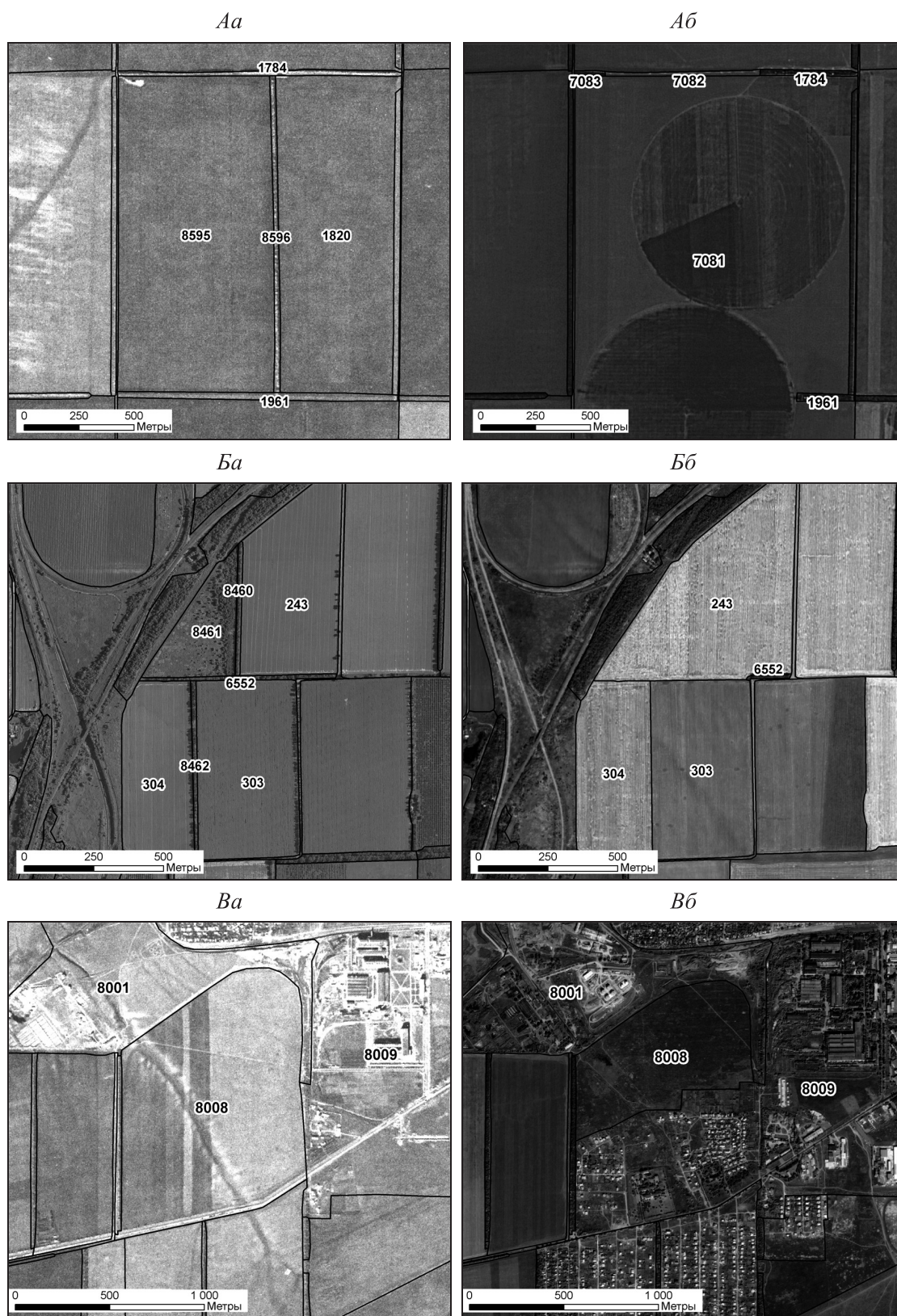


Рис. 5. Примеры динамики землепользования: А – вырубка лесополосы, Аа – лесополоса на съемке разведывательного спутника США 1968 г. 2,8 м; Аб – орошение (фрегат) на съемке IRS 6 м 2006 г.; Б – ликвидация лесополосы при освоении залежи, Ба – залежь на ортофотоплане 0,6 м 2007 г., Бб – поле на материале с сайта google 1 м 2010 г.; В – строительство на сельскохозяйственном поле, Va – поле на съемке разведывательного спутника США 1968 г. 2,8 м; Bб – территория населенного пункта на материале с сайта google 1 м 2010 г.

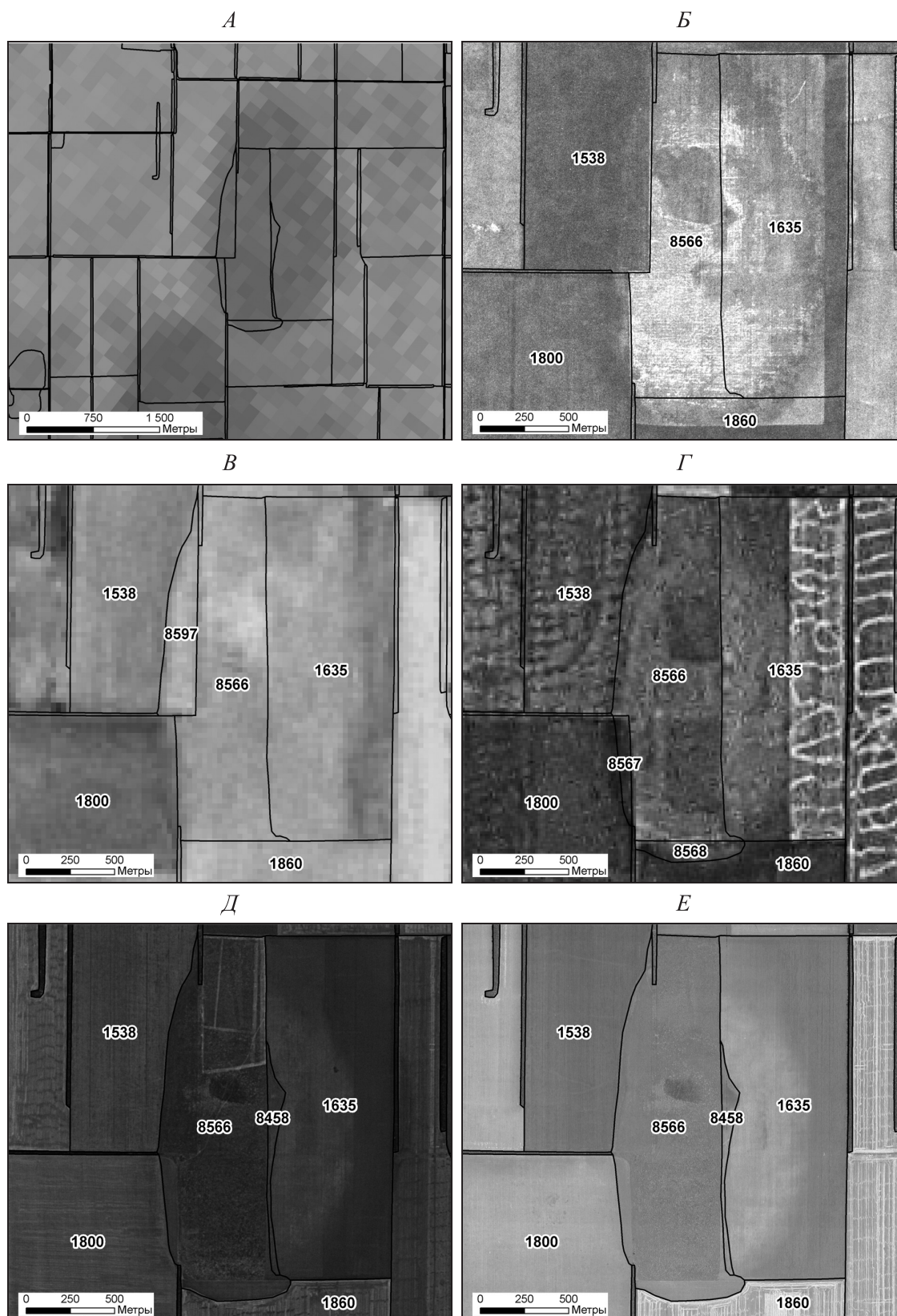


Рис. 6. Пример динамики землепользования, пульсация западины: А – общие контуры землепользования на ЦМР SRTM 2000 г.; Б – актуализация по съемке разведывательного спутника США 1968 г. 2,8 м; В – актуализация по снимку Landsat 5ТМ 30 м 1990 г.; Г – актуализация по снимку Landsat 7 ЕТМ+ 15 м 2000 г.; Д – актуализация по материалам с сайта google 1 м 2010 г.; Е – актуализация по ортофотоплану 0,6 м 2007 г.

4. Ретроспективный мониторинг позволяет выявить объекты динамики земельного покрова, которые не находят отображения ни на одних существующих картографических материалах на территорию России.

5. Изменчивость земельного покрова, проявляющаяся в смене типа землепользования, имеет значимые величины при наблюдении с временным шагом в 10 лет, а за период в 20 лет – достигает 8% от площади сельскохозяйственных угодий.

6. Организация ретроспективного мониторинга потребовала разработать оригинальную легенду-классификатор, не являющуюся составной частью никакой другой легенды или классификатора.

## Литература

1. Организация ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова Азовского района Ростовской области / А.В. Брызжев [и др.] // Почвоведение. – 2013. – № 11. – С. 1294–1315.

2. Лайель, Ч. Основания геологии или перемены, происшедшие некогда с землею и с ее обитателями / Ч. Лайель. – Пер. с 5-го изд.: В 2 т. – М.: тип. Э. Барфкнехта и Ко, 1859: – 177 с.

3. Рухович, Д. И. Многолетняя динамика засоления орошаемых почв центральной части Голодной степи и методы ее выявления : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.27 / Д.И. Рухович ; ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева. – М., 2009. – 24 с.

4. Цифровая тематическая картография как смена доступных первоисточников и способов их использования / Д.И. Рухович [и др.] // Теоретические и экспериментальные исследования в области цифровой почвенной картографии в России. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. – С. 58–86.

5. Ретроспективный анализ изменчивости землепользования на слитых почвах замкнутых западин Приазовья / Д.И. Рухович [и др.] // Почвоведение. – 2015. – № 10. – С. 1168–1193.

6. Влияние лесополос на фрагментацию овражно-балочной сети и образование мочаров / Д.И. Рухович [и др.] // Почвоведение. – 2014. – № 11. – С. 1043–1045.

7. Анализ применения почвенных карт в системе ретроспективного мониторинга почвенного и земельного покрова / Д.И. Рухович [и др.] // Почвоведение. – 2015. – № 5. – С. 605–625.

8. Проблемы использования цифровых тематических карт на территорию СССР при создании ГИС «Почвы России» / Д.И. Рухович [и др.] // Почвоведение. – 2011. – № 9. – С. 1043–1045.

9. Симакова, М. С. Почвенные карты / М.С. Симакова // Картографическая изученность России (топографические и тематические карты). – М.: Изд-во Ин-та географии РАН, 1999. – С. 113–133.

10. Цифровая версия государственной почвенной карты масштаба 1 : 1 млн, проблемы и решения / М.С. Симакова [и др.] // Почвоведение. – 2014. – № 11. – С. 1043–1045.

11. Hutton, J. Theory of the Earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the Globe / J. Hutton // Transactions of the Royal Society of Edinburgh. – 1788. – V. 1. – Part 2. – P. 209–304.