



УДК 621.0.11:551.4

ББК 26.3

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЛАНДШАФТНЫХ КАТЕН ВОЛГО-ИЛОВЛИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

*А.С. Рулев, В.Г. Юферев*

В статье представлены материалы по методике и применению геоинформационного почвенно-геоморфологического анализа катен в ландшафтоведении и агролесомелиорации. Показаны результаты анализа ландшафтных катен юго-восточного окончания Приволжской возвышенности.

***Ключевые слова:** дистанционно-картографический мониторинг, катена, цифровая модель рельефа, математико-картографическое моделирование, картографирование, геоинформационный комплекс.*

### Введение

Агрolandшафты занимают большую часть площади степных земледельческих районов Волгоградской области, поэтому быстроразвивающиеся процессы деградации сельскохозяйственных угодий определяют региональную экологическую ситуацию. Для успешного управления процессами восстановления нарушенных земель требуется анализ основных закономерностей процессов деградации ландшафтов. Создание системы дистанционно-картографического мониторинга эродированных почв позволит в сжатые сроки не только охватить наблюдениями значительные территории, но и оценить масштабы деградации, предложить крупномасштабные ландшафтные планы обустройства деградирован-

ных земель. За основу изучения и оценки эродированных земель предлагается брать катенарный подход, отражающий процессы дифференциации почвенного покрова в зависимости от положения на элементе рельефа [6].

Большинство критериев ухудшения свойств почв надежно распознаются на космических снимках по рисунку и тону изображения, а также по их приуроченности к формам рельефа. Для обоснования катенарного подхода было проведено контурное и диагностическое дешифрирование смывности почв с помощью компьютерного анализа космических снимков.

Развитие современных информационных технологий, расширение доступности информационных ресурсов, включая результаты аэрокосмических исследований поверхности земли, в комплексе с компьютерной обработкой фотоинформации выводят исследование агролесоландшафтов на новый уровень. При этом обеспечивается непрерывность обновления информации, высокая точность установления местоположения объектов, определение дешифровочных признаков

не только на визуальном, но и на цифровом уровне. Все это позволяет развивать компьютерное моделирование ландшафтных комплексов и протекающих в них процессов как метод исследования.

Преимущество такого подхода заключается в том, что он позволяет вести анализ процессов деградации ландшафтов сразу на нескольких уровнях – от комбинаций урочищ, составляющих тип местности, до ландшафтных районов.

Новизна исследований заключается в том, что впервые в отечественной практике предложена методика геоинформационного анализа и моделирования ландшафтных катен, основанная на синтезе принципов катенарно-бассейнового подхода, методов пластики рельефа, морфодинамического анализа и дистанционного мониторинга. Новизна технологии подтверждена патентами: «Способ определения состояния защитных лесных насаждений» (патент РФ на изобретение № 2330242); «Способ определения состояния почв в агроландшафтах» (патент РФ на изобретение № 2265839); «Способ определения состояния пастбищ» (патент РФ на изобретение № 2327107).

### Объекты и методика

В качестве объекта исследовались ландшафтные катены юго-восточного окончания Приволжской возвышенности. Геоморфологическое строение обусловлено длительной континентальной денудацией, сложным литологическим строением территории, активными тектоническими движениями, абразионной деятельностью нижнечетвертичных морей, высокой расчлененностью овражно-балочной сети (1,5–2 км/км<sup>2</sup>). Отличительной чертой рельефа является его ступенчатость, ярусность, фрагментарность залегания покровных элювиально-делювиальных отложений. Частая параллельная сеть оврагов и балок, впадающих в р. Волгу, расчленила район на узкие слабовыпуклые водоразделы с пологими и покатыми склонами крутизной от 3° до 8°. Некоторые балки с сильной правобережной асимметрией берега имеют крутизну 15–25° и более.

Агроландшафтные катены Приволжской возвышенности являются эталонами для ана-

логичных объектов степной природной зоны. Поэтому полученные материалы могут быть экстраполированы и на ландшафты-аналоги как в нашей стране, так и за рубежом.

Комплексная методика основана на использовании катенарно-бассейнового подхода и базируется на разработанных во Всероссийском научно-исследовательском агролесомелиоративном институте (ВНИАЛМИ) пятиэтапной методике ландшафтно-экологического картографирования в агролесомелиорации [5], методике многопараметрического компьютерного анализа аэрокосмоснимков [4], методике ландшафтно-экологического профилирования [3], методике дистанционного эколого-экономического мониторинга аридных пастбищ [2] и новой методике по адаптивно-ландшафтному обустройству земель сельскохозяйственного назначения лесостепной, степной и полупустынной зон европейской части Российской Федерации [1].

Для оценки деградации почвенного покрова ландшафтных катен использовались черно-белые, мультиспектральные или спектрзональные аэрокосмофотоснимки (АКФ) с разрешением не менее 3 м для отдельных малоразмерных агролесомелиоративных объектов, ЗЛН и не менее 30 м для площадных объектов (лесные массивы, пашня, пастбища). Выбор разрешения обусловлен возможностью дешифрирования параметров объекта мониторинга (характеристик его экологического состояния).

Создание обзорной космофотокарты осуществляется с целью оценки состояния почвенного покрова катены, подверженной деградации, и определения координат объектов мониторинга. Масштаб обзорной космофотокарты региона исследования (1:1 000 000, 1:2 000 000) выбирается таким образом, чтобы достоверно определялись границы ландшафтных элементов (в том числе большие лесные массивы, водоемы, поля и др.). Обзорная карта обеспечивает взаимосвязанность информации отдельных объектов всего региона исследований. Обзорная космофотокарта создается на основе оцифрованной топографической карты соответствующего масштаба, которая в оцифрованном виде является тематическим слоем, служащим для привязки космоснимка катены к географическим координатам и нанесения координатной сетки.

Цифровые космокарты в масштабе 1:1 000 000, 1:2 000 000 создавались в виде тематического слоя в используемом программном продукте (например, «MapInfo»), трансформировались таким образом, чтобы координаты контрольных объектов на снимке и на топографической основе совпадали. После этого производилось контрольное измерение объектов на снимке и сверка их координат с координатами на топографической основе. Для повышения точности привязки снимка производилась корректирующая трансформация, обеспечивающая приемлемую точность.

На основе данных специализированных ГИС и топографических карт создавался тематический слой – границы. Слой создавался путем проведения полилиний, совпадающих с границами, обозначенными на топографической основе. Для проведения дополнительных границ использовалась уточненная информация, которая переносилась на тематический слой «границы» также путем проведения полилиний по контрольным точкам.

В результате компьютерной обработки и трансформации космоснимков была разработана обзорная космофотокарта региона исследований с нанесенной координатной сеткой, границами. Дополнительная атрибутивная информация заносилась в базу данных локальной ГИС. Таким образом, создание обзорной космофотокарты позволило установить объекты в агролесоландшафтах, подверженные деградации и определить их точные координаты.

Создание крупномасштабной космофотокарты (космофотоплана) проводилось для детального изучения ландшафтных объектов и заключалось в следующем: на имеющейся обзорной космофотокарте полигоном выделялся объект исследований; определялись его координаты, общая площадь и периметр; при необходимости устанавливалось расстояние до контрольных пунктов и создавался новый тематический слой – космофотокарта объекта исследований.

В зависимости от типа объекта исследований осуществлялась трансформация полученной космофотокарты объекта до получения нужного масштаба и проекции. Необходимо учитывать, что разрешение исходных космоснимков, используемых при создании обзорной космофотокарты в цифровом виде, должно бес-

печивать соответствующее укрупнение масштаба космофотокарты объекта исследований.

Создание космофотокарты объекта исследований завершилось занесением необходимой атрибутивной информации в базу данных и уточнением географических координат.

В результате математико-картографического моделирования ландшафта составлены прогнозные карты деградации в цифровом и бумажном исполнении. Цифровая прогнозная карта является основой геоинформационной системы агролесомелиоративного обеспечения устойчивости ландшафтов к деградации. Она должна содержать следующую информацию: географическое положение объектов; уклоны поверхности и их экспозиция; состав почв и содержание гумуса; виды растительности (основные) – сельскохозяйственные культуры, состав травостоя для пастбищ, древесные породы для лесонасаждений; данные экологического состояния объекта (уровни деградации на настоящее время и прогноз); размеры и форму объекта. Анализ космофотокарт предусматривает получение данных в численном значении, характеризующих объект исследований. Информация содержится в оцифрованном изображении в виде растровых, векторных слоев и атрибутивных данных. Исследования распределения пикселей по значению фототона и растровых изображений позволяют установить их корреляцию с количественными характеристиками объекта мониторинга.

### Результаты исследования и их обсуждение

Основной задачей исследований было создание цифровых моделей рельефа и местности ландшафтных катен исследуемого региона.

Цифровая модель рельефа (далее – ЦМР) представляет собой математическое описание земной поверхности как совокупности расположенных на ней точек, связей между ними, а также метода определения высот произвольных точек, принадлежащих области моделирования, по их плановым координатам.

Применяемые в настоящее время способы построения цифровой модели рельефа, в зависимости от принятой схемы размещения точек и типа математической модели, можно условно разделить на две группы.

*Первая группа* объединяет способы, основанные на нелинейной интерполяции высот с использованием полиномов, сплайнов, корреляционных функций и т. п., различающихся видом используемой функции, способом отбора исходных пунктов и пр.

Параметры применяемой математической модели вычисляются по опорным точкам, а затем используются для интерполяции высот произвольных точек области моделирования по их плановым координатам.

*Вторая группа* объединяет способы, основанные на построении геометрически упорядоченной (регулярной или нерегулярной) модели, элементами которой являются либо определенным образом упорядоченные линии, либо поверхности различных многогранников (треугольников, четырехугольников или иных фигур).

На основе результатов радарного сканирования исследуемого региона спутниками ASTER создана цифровая модель рельефа, которая может быть визуализирована изолинейной картой высот в программах GlobalMapper или Surfer, а также 3-мерным изображением (см. рис. 1).

Цифровые модели (визуализация представлена на рисунке 2) позволяют проводить исследования рельефа с выявлением закономерностей и построением описывающих их математических зависимостей.

Так как приведенные выше модели являются географически определенными (геокодированными), то каждая точка изображения имеет географические координаты с точностью по положению от 1" (30 м по поверхности), обусловленной взятой за основу сеткой высот ASTER GDEM.

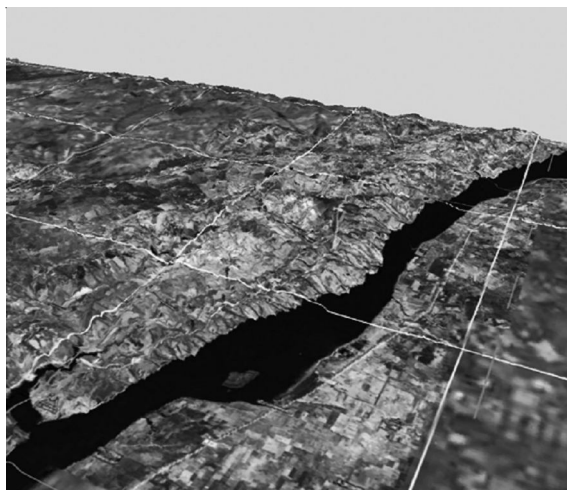


Рис. 1. Трехмерная визуализация цифровой модели рельефа

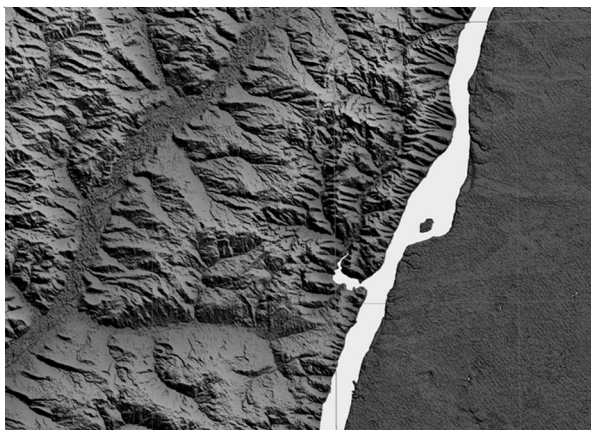


Рис. 2. Визуализация ЦМР участка Волго-Иловлинского междуречья

Продукт ASTER GDEM разработан совместно METI и NASA. ASTER GDEM был предоставлен системе GEOS и бесплатно доступен посредством загрузки из сети Интернет через японский центр ERSDAC и LP DAAC NASA. Сенсор ASTER был запущен на борту спутника NASA Terra в декабре 1999 г. и имеет возможность стереоскопической съемки вдоль полосы пролета с помощью двух телескопов, снимающих в нади́р и назад в ближнем инфракрасном диапазоне с отношением база-высота – 0,6. Пространственное разрешение в плане – 15 метров. Одна сцена ASTER в видимом или ближнем инфракрасном диапазоне имеет размер 4,100 на 4,200 элементов, что соответствует 60 x 60 км на поверхности Земли. Для создания ASTER GDEM использовалась автоматическая обработка всего архива данных ASTER, насчитывающего 1,5 миллиона сцен.

ASTER GDEM охватывает поверхность суши между 83° с. ш. и 83° ю. ш. и насчитывает 22,600 фрагментов размером 1° x 1°. Оставлены фрагменты, насчитывающие минимум 0,01 % поверхности суши. ASTER GDEM распространяется в формате GeoTIFF в географической системе координат (широта/долгота) и разрешением 1 угловая секунда (примерно 30 метров). Оценка точности (негарантированная) глобального продукта – 20 метров (95 % доверительный интервал) для данных по вертикали и 30 метров (95 % доверительный интервал) по горизонтали.

Промежуточные значения отметок высот скомпилированы в геоинформационных и картографических программных комплексах MapInfo, GlobalMapper или Surfer, в основном с использованием метода Кригинга [7].

Метод Кригинга – это метод интерполяции, который основан на использовании методов математической статистики. В его реализации применяется идея регионализированной переменной, то есть переменной, которая изменяется от места к месту с некоторой видимой непрерывностью; она не может моделироваться только одним математическим уравнением; поверхность представляется в виде трех независимых величин. Первая – тренд, характеризует изменение поверхности в определенном направлении. Тренд, как известно, представляет собой долговременную тенденцию изменения исследуемого ряда. Далее предполагается,

что имеются небольшие отклонения от общей тенденции, вроде маленьких пиков и впадин, которые являются случайными, но все же связанными друг с другом пространственно. Наконец, имеется случайный шум. С каждой из трех переменных надо оперировать в отдельности. Тренд оценивается с использованием математического уравнения, которое наиболее точно описывает общее изменение поверхности.

Анализ цифровой модели показал, что выделяются три ландшафтных яруса: 1) возвышенные равнины (170–400 м) занимают 188,0 км<sup>2</sup>, или 1,53 % от общей площади Волго-Иловлинского междуречья; 2) низменные равнины (100–170 м) – 7 203,0 км<sup>2</sup>, или 58,62 %; 3) низинные равнины (<100 м) – 4 896,0 км<sup>2</sup>, или 38,85 %, из них равнины (50–100 м) – 2 301,0 км<sup>2</sup> или 22,8 %. Всего площадь междуречья составляет 12 287,0 км<sup>2</sup>.

Изучение особенностей рельефа по имеющейся его цифровой модели дает возможность разработать аналитические зависимости для описания устойчиво повторяющихся закономерностей, рассчитать углы наклонов склонов любой экспозиции.

Имеющиеся в аппарате программных комплексов математические функции обеспечивают как цифровое описание расчетных характеристик рельефа, так и визуализацию этих расчетов. Это дает возможность построить карты углов наклона склонов (см. рис. 3).

Разработанная на основе ЦМР карта пластики рельефа (см. рис. 4) дает возможность выявить современное состояние рельефа.

Для расчета параметров пластики построена карта с выделением областей вогнутых и выпуклых поверхностей (см. рис. 5).

В результате исследования Волго-Иловлинского междуречья общей площадью 1 196 800 га установлено, что к вогнутым элементам рельефа относится 429 829,22 га (или 35,91 %), к выпуклым – 766 970,78 га (или 64,09 %). При этом площадь макрокатены иловлинского склона 776 570 га, и при протяженности тальвегов водосборов 1-го, 2-го и крупных 3-го порядка 1 937,8 км общая расчлененность составляет 0,25 км/км<sup>2</sup>. Площадь волжского склона 420 230 га, протяженность тальвегов 1 634,1 км, общая расчлененность 0,39 км/км. Построена цифровая модель меридиональной макрокатены (см. рис. 6).

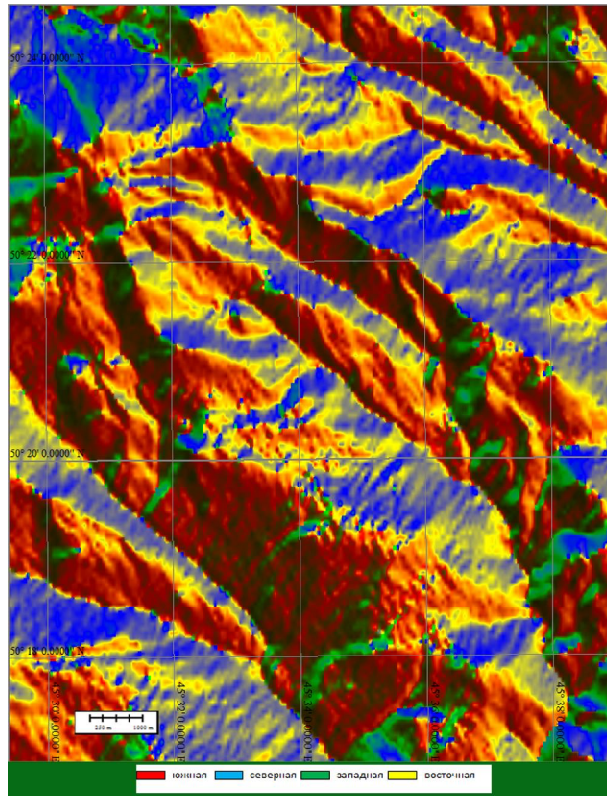


Рис. 3. Фрагмент карты экспозиции склонов (М 1 : 200 000)

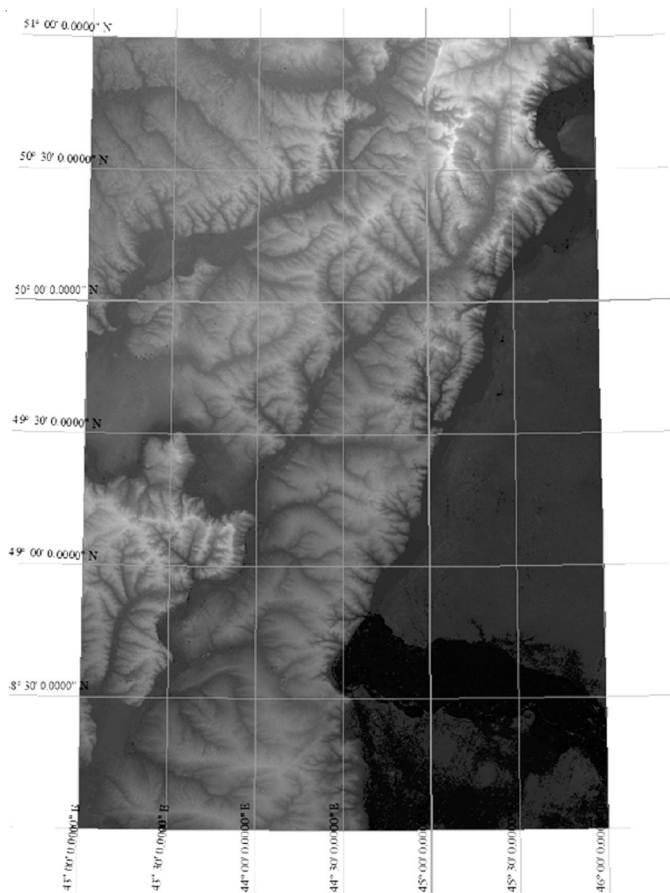


Рис. 4. Карта пластики рельефа Волго-Иловлинского междуречья

*Характеристика макрокатены.* Начало измерений (точка): 50° 34' 7,1587" С, 45° 40' 57,5150" В; начальная высота: 127,945 м; конечная точка: 48° 37' 16,9885" С, 44° 05' 40,9215" В; конечная высота: 57 м; расстояние по профилю: 245,11 км; перепад высот по профилю: 70,9 м; минимальная высота по профилю: 31 м; максимальная высота по профилю:

272,334 м; азимут линии профиля: 208° 32' 3,1"; общий наклон поверхности: 0,02°; максимальный угол наклона поверхности: 10,52° (100,52 км вдоль линии профиля).

Цифровая модель широтной макрокатены участка, визуализация которой представлена на рисунке 7, показывает характерное изменение поверхности по направлению долины р. Иловля.

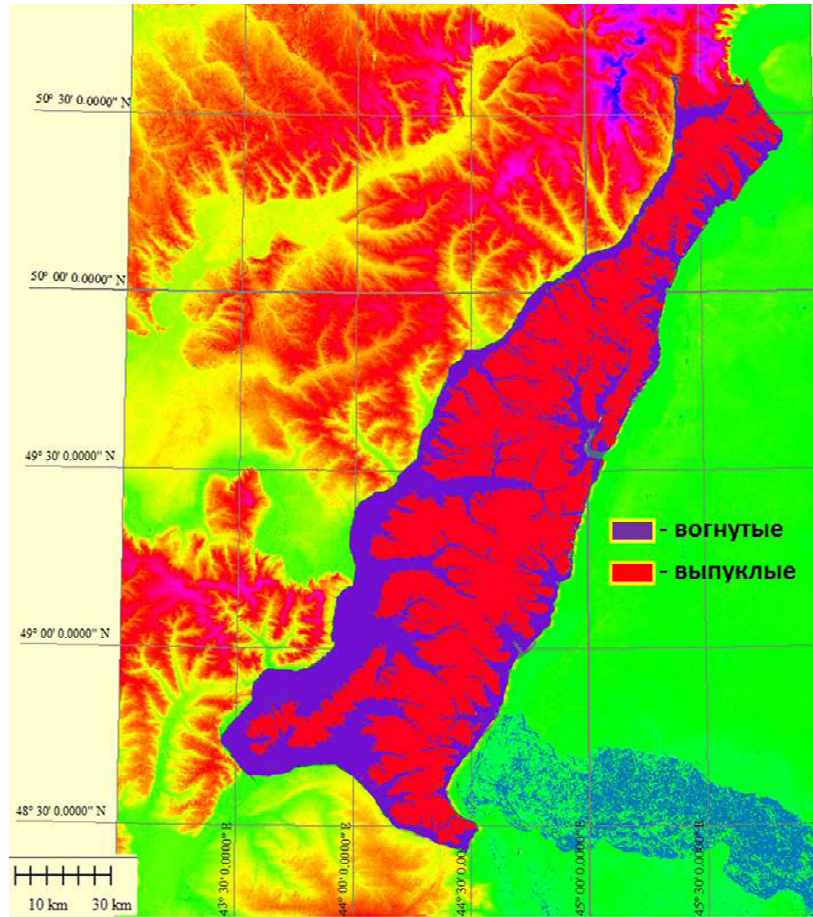


Рис. 5. Карта выпуклых и вогнутых поверхностей Волго-Иловлинского междуречья

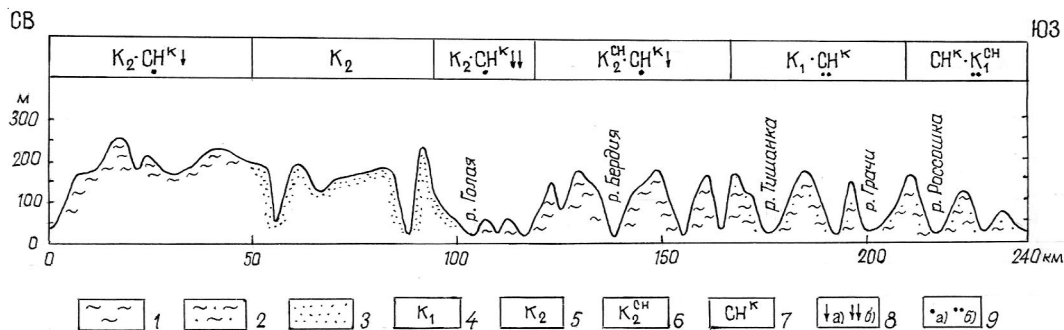


Рис. 6. Ландшафтная макрокатена Волго-Иловлинского междуречья:

1 – суглинки; 2 – супесь; 3 – пески; почвенный состав: 4 – светло-каштановые; 5 – каштановые; 6 – каштановые солонцеватые; 7 – солонцы каштановые; 8 – слабосмытые (а), среднесмытые (б); 9 – содержание почв в комплексах: 10–25 % (а), 25–50 % (б)

*Характеристики профиля.* Начало измерений (точка):  $50^{\circ} 00' 56,7259''$  С,  $44^{\circ} 47' 14,7704''$  В; начальная высота: 74 м; конечная точка:  $49^{\circ} 54' 18,6203''$  С,  $44^{\circ} 59' 32,2666''$  В; конечная высота: 176,652 м; расстояние по профилю: 19,167 км; перепад высот по профилю: 102,7 м; минимальная высота по профилю: 58,755 м; максимальная высота по профилю: 209,223 м; азимут линии макрокатаены:  $129^{\circ} 50' 34,9''$ ; общий наклон поверхности:  $0,31^{\circ}$ ; максимальный угол наклона поверхности:  $20,31^{\circ}$  (14,357 км вдоль линии профиля). Уравнение, описывающее форму профиля, может быть представлено в виде:  $H = 64,242e^{0,05591x}$ , с коэффициентом достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,921$ .

*Характеристики профиля катены волжского склона от водораздела к руслу Волги.* Начало измерений (точка):  $49^{\circ} 55' 29,8070''$  С,  $45^{\circ} 02' 20,1275''$  В; начальная высота: 177,987 м; конечная точка:  $49^{\circ} 53' 41,0809''$  С,  $45^{\circ} 19' 17,0324''$  В; расстояние по профилю: 20,567 км; перепад высот по профилю: 163,7 м; минимальная высота по профилю: 9 м; максимальная высота по профилю: 213,577 м; азимут линии профиля:  $99^{\circ} 17' 33,6''$ ; общий наклон поверхности:  $0,47^{\circ}$ ; максимальный угол наклона поверхности:  $34,72^{\circ}$  (10,286 км вдоль линии профиля). Для профиля характерны относительно плоская часть с общим уклоном в сторону тальвега менее  $0,15^{\circ}$  и склон с углом наклона  $1,58^{\circ}$  протяженностью около 5 км.

Создание карты экспозиции склонов обусловлено различиями в развитии склонов и не-

обходимо для определения их основных характеристик, таких как протяженность, форма, угол наклона и т. д. Для Приволжской возвышенности характерна меридиональная ориентация водосборов основных рек (Волга, Иловля) и широтная для водосборов 1-го порядка. Основная часть склонов в водосборах 1-го порядка имеет экспозиции Ю-ЮЗ, С-СВ, в связи с этим явно проявляются различия в их морфологии, что, в свою очередь, требует разработки различных подходов в ландшафтном планировании противодеградационной лесомелиорации склонов.

### Заключение

Создание геоинформационного комплекса, включающего набор тематических цифровых карт ландшафта, основанных на дешифрировании аэрокосмических снимков, и космофотокарту ландшафта, дает возможность исследовать его эрозионное состояние, выделить и определить характеристики основных водосборов, разделить катены и выявить различия в видах, интенсивности и особенностях эрозионных процессов.

Необходимость геоинформационного комплекса обусловлена необходимостью актуализации информации как о топологии компонентов ландшафта, так и о его состоянии.

Сочетание растровой модели ландшафта с цифровой моделью рельефа создает информационное поле, представляющее описание ландшафта, необходимое для ландшафтного планирования агролесомелиоративных работ.

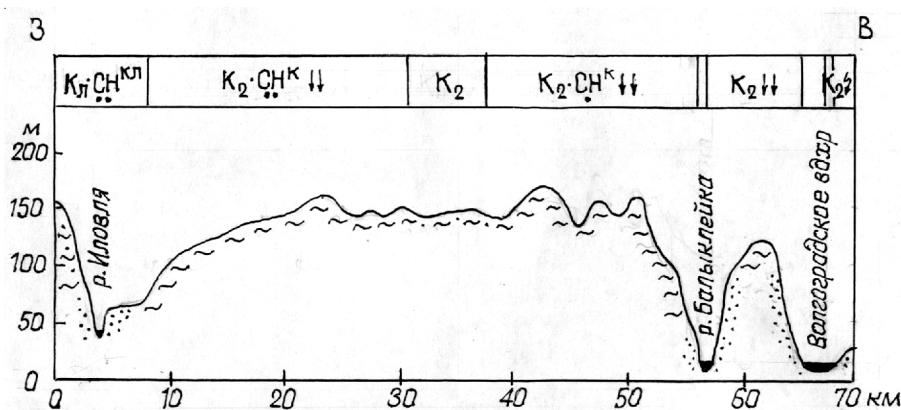


Рис. 7. Ландшафтная макрокатена Волго-Иловлинского междуречья \*

\* Условные обозначения: см. рис. 6.



Современные компьютерные технологии позволяют в приемлемом временном режиме выполнять целенаправленную обработку и автоматизированную интерпретацию огромных массивов динамических картографических данных.

Новая эффективная технология оценки и прогнозирования изменения агролесоландшафтов с применением геоинформационных программных комплексов является основой для изучения закономерностей протекающих в них процессов и прогнозирования развития реальной обстановки.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации / В. Г. Юферев [и др.]. – Волгоград : ВНИАЛМИ, 2010. – 102 с.
2. Методические указания по дистанционному эколого-экономическому мониторингу аридных пастбищ на основе ГИС-технологий / К. Н. Кулик [и др.]. – М., 2009. – 38 с.
3. Методические указания по ландшафтно-экологическому профилированию при агролесомелиоративном картографировании / К. Н. Кулик [и др.]. – М., 2007. – 42 с.
4. Методическое пособие по применению информационных технологий в агролесомелиоративном картографировании. – М. : РАСХН, 2003. – 47 с.
5. Применение аэрокосмических методов в агролесомелиорации : метод. рекомендации / К. Н. Кулик [и др.]. – М. : РАСХН, 1991. – 56 с.
6. Рулев, А. С. Методология геоинформационного моделирования / А. С. Рулев, В. Г. Юферев, М. В. Юферев // Вестник РАСХН. – 2011. – № 5. – С. 5–6.
7. Справочник по математическим методам в геологии / Д. А. Родионов [и др.]. – М. : Недра, 1987. – С. 105–110.

### **GEOINFORMATION ANALYSIS OF LANDSCAPE CATENAS OF VOLGA-ILOVLINSKY INTERFLUVE**

*A.S. Rulev, V.G. Yuferev*

Materials on the methodology and application of GIS soil and geomorphological analysis catenas in landscape and agroforestry are presented. The results of the analysis of landscape catenas south-eastern end of the Volga Upland are show.

**Key words:** *distance-mapping monitoring, catena, a digital terrain model, mathematical modeling, mapping, geo-information complex.*