

## **Особенности использования данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий для анализа рельефа агроландшафтов**

*С.А. Антонов, к.г.н., ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ*

В 1980–1990 гг. в России происходит активное внедрение зональных систем земледелия, которые в той или иной степени были интегрированы на уровне природно-сельскохозяйственных провинций. Для повышения эффективности агропромышленного комплекса в Ставропольском крае

за период с 1968 по 1988 гг. были разработаны и внедрены региональные системы земледелия. Особое значение имело внедрение системы «сухого земледелия» для засушливых районов края, что позволило повысить валовые сборы продукции растениеводства в 1,3 раза. Несмотря на достигнутые результаты по урожайности зерна в то время Россия уступала развитым странам в 2–4 раза [1, 2].

Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства было необходимо проводить более детальную дифференциацию систем земледелия на основе агроэкологических условий ландшафтов, что привело к проектированию новых адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ).

Академик В.И. Кирюшин разработал методологию проектирования АЛСЗ на основе агроэкологической оценки земель [3]. Зональные системы земледелия не имели адекватной агроэкологической оценки земель, а основывались на принципах директивного планирования. Современная агроэкологическая оценка земель – это комплексный системный процесс, основанный на ландшафтно-экологическом анализе территории.

К основным факторам, определяющим функционирование ландшафтов как геосистем, относятся рельеф, литология, почвенный покров, климат, растительность [4]. Агроэкологическая оценка указанных факторов является предметом ландшафтно-экологического анализа территории.

Эффективность ландшафтно-экологического анализа находится в тесной взаимосвязи с достоверностью и полнотой исходных данных, а также с наличием методов и технологий, которые позволяют получить объективные результаты оценки.

Исходной информацией для проведения ландшафтно-экологического анализа являются материалы полевых наблюдений, архивные сведения и данные дистанционного зондирования Земли, которые позволяют объективно оценивать объекты, расположенные на земной поверхности, путём дистанционной регистрации электромагнитного излучения в широком диапазоне спектра.

Поскольку вся информация для проведения ландшафтно-экологического анализа имеет пространственную привязку, наиболее эффективным средством для его проведения являются методы и технологии географических информационных систем (ГИС).

Создание цифровых моделей рельефа (ЦМР) на базе радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли с использованием современных ГИС является основой для оценки рельефа агроландшафтов. Однако использование данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий для оценки рельефа имеет свои особенности, которые должны быть учтены для получения достоверных результатов [5].

**Цель исследования:** определить особенности использования данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий для анализа рельефа агроландшафтов как одного из элементов агроэкологической оценки земель.

**Материал и методы исследования.** Исследование проводилось на территории Труновского района Ставропольского края, расположенного в зоне неустойчивого увлажнения. Среднегодовая темпе-

ратура равна 10,7°C, сумма активных температур – 3555°C, годовая сумма осадков – 582 мм, гидро-термический коэффициент – 1, что соответствует устойчиво влажным условиям по классификации Г.Т. Селянинова [6].

Район обладает высокой сельскохозяйственной освоенностью: 84% территории Труновского района занято землями сельскохозяйственного назначения, из них 77% – пашня (128953 га).

Основными почвами, на которых расположена пашня, являются чернозёмы обыкновенные – они занимают 57% территории пашни. Для 33% пашни характерны чернозёмы южные. Значительные площади – 9000 га (7%) – занимают эродированные смытые чернозёмные и каштановые почвы, на остальной территории располагаются лугово-чернозёмные почвы (2%) и чернозёмы типичные (1%).

Анализ рельефа проводился на базе радиолокационных данных SRTM и ASTER (пространственное разрешение 30 м), полученных из архива Американской геологической службы (USGS). Данные модели распространяются под свободной лицензией и обладают достаточным пространственным разрешением для анализа рельефа с целью агроэкологической типизации земель.

Основными методами, использованными при проведении исследования, были такие методы ГИС, как векторизация, наложение (оверлей), создание буферных зон, создание цифровой модели рельефа, расчёт морфометрических характеристик территории, моделирование водотоков, зональная статистика [7, 8].

Для обработки и анализа полученных результатов были использованы математические, статистические и графические методы.

**Результаты исследования.** Современные системы дистанционного зондирования Земли ежедневно собирают большие объёмы сырых данных о земной поверхности, которые подвергаются различным видам трансформации и передаются конечному потребителю. Однако не всегда данные дистанционного зондирования содержат сведения, позволяющие эффективно решать различные задачи.

В результате использования радиолокационных данных SRTM и ASTER для создания цифровой модели рельефа пашни Труновского района были получены некорректные результаты. По данным ЦМР SRTM средний уклон пашни в Труновском районе составляет 1,28°, при этом по данным модели ASTER, обладающей аналогичным пространственным разрешением, средний уклон составил 7,48°.

Результаты анализа ранжированных групп уклонов для дальнейшей агроэкологической типизации земель представлены в таблице 1. По данным ЦМР SRTM в Труновском районе преобладает пашня с уклоном 1–3°, а эрозионно-опасный уклон >5° встречается на 1% пахотных земель района.

1. Соотношение площади пашни  
Труновского района с различными уклонами  
по данным ЦМР SRTM и ASTER

Уклон пашни	Площадь пашни (%)	
	SRTM	ASTER
<1°	41	3
1–3°	55	15
3–5°	2	21
5–7°	1	18
>7°	0	43

По данным модели ASTER ситуация противоположная: пахотные земли в основном располагаются на территории с уклоном, превышающим 7° (43% территории), а наименее эрозионно опасный уклон характерен для 18% пашни.

Полученные результаты свидетельствуют о недостоверности данных на основе анализа ЦМР ASTER, в противном случае территория Труновского района не обладала бы настолько высокой сельскохозяйственной освоенностью.

Несмотря на получение более объективных результатов анализа ЦМР SRTM для качественной оценки рельефа необходимо провести корректировку модели. Назначение корректировки призвано устранить локальные повышения и понижения рельефа, связанные с объектами, которые располагались на территории в момент проведения съёмки. Чем выше точность ЦМР, тем больше её отклонение от фактической местности.

Поскольку Труновский район характеризуется высокой сельскохозяйственной освоенностью, на его территории в качестве эффективного способа борьбы с ветровой и отчасти водной эрозией используется противоэрозионный каркас из лесных защитных полос. Именно растительность, в том числе и лесные полосы выступают в качестве локальных повышений и искажают итоговую оценку рельефа района. Суммарная протяжённость лесных полос в районе составляет 2453 км, которые занимают площадь 6670 га.

В связи с этим необходимо нивелировать влияние растительности на итоговую оценку рельефа местности. Для этого при помощи данных дистанционного зондирования Земли, полученных в 2000 г., были проведены дешифрирование и оцифровка всей растительности Труновского района. Выбор 2000 г. был обусловлен тем, что именно в это время была проведена радиолокационная съёмка SRTM, которая зафиксировала текущее расположение объектов на местности.

В случае корректировки других цифровых моделей рельефа необходимо учитывать период времени, когда была проведена радиолокационная съёмка местности.

На следующем этапе исходная ЦМР, представленная в растровой модели данных, преобразуется в векторную модель. Векторная модель состоит из массива точечных объектов с определённой высот-

ной характеристикой. При помощи методов ГИС вокруг растительности строится пространственный буфер, который в 3 раза должен превышать пространственное разрешение модели ЦМР. В нашем случае был построен буфер 90 м.

На основе анализа пространственного положения каждой точки из массива точек ЦМР определяется её положение внутри или снаружи буфера. В случае нахождения её внутри буфера она удаляется, тем самым происходит корректировка локальных повышений рельефа. По оставшимся точкам производится интерполяция с целью формирования непрерывной цифровой модели рельефа, которая используется для анализа рельефа при проведении агроэкологической типизации земель.

При помощи модуля Hydrology, представленного в ГИС-программе ArcGIS, мы провели моделирование основных водотоков по территории Труновского района по данным исходной и скорректированной ЦМР SRTM [9] (рис.).

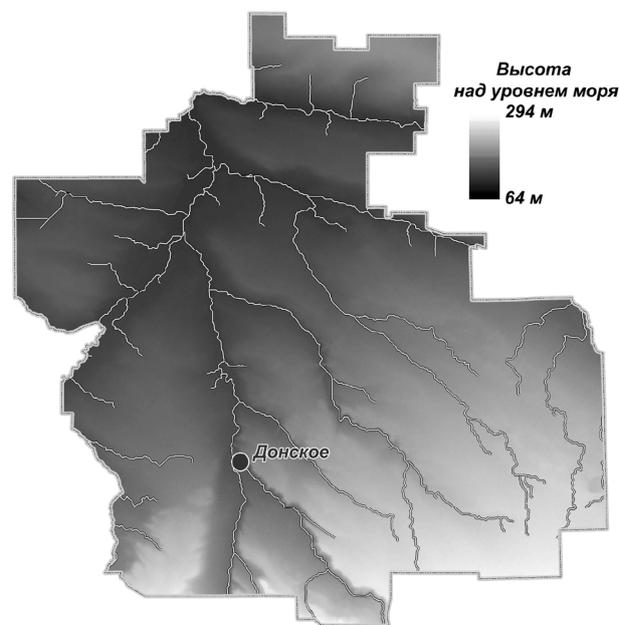


Рис. – Модель основных водотоков на территории Труновского района по данным скорректированной ЦМР SRTM

В результате ранее проведённых исследований по использованию данных дистанционного зондирования Земли для выявления процессов линейной водной эрозии установлено, что их суммарная протяжённость на территории Труновского района составляет 450 км и охватывает в той или иной степени 36% пахотных земель в районе [10].

Для оценки точности ЦМР мы провели сравнение двух моделей водотоков с пространственным положением реально существующих процессов линейной водной эрозии. По данным исходной ЦМР SRTM совпадение с существующими эрозионными размывами отмечается на 41% их протяжённости, тогда как по данным скорректи-

рованной ЦМР SRTM совпадение отмечается на 63% протяжённости, что свидетельствует о более высокой степени гидрологической достоверности скорректированной ЦМР SRTM по сравнению с исходной.

Анализ гистограмм распределения высотных отметок по данным исходной и скорректированной ЦМР не показал существенных различий между моделями. Минимальная высотная отметка в районе составляет 64 м, а максимальная – 294 м над уровнем моря, средняя высотная отметка – 150 м, стандартное отклонение по высоте – 56 м.

Уклон местности является важным параметром при проведении морфометрического анализа местности в рамках агроэкологической оценки земель. Результаты статистического анализа уклонов пашни по данным исходной и скорректированной ЦМР представлены в таблице 2. В результате максимальный уклон снизился с 13,9 до 7,3°, а средний – с 1,26 до 1,06°.

2. Статистический анализ уклона пашни Труновского района по исходным и скорректированным данным ЦМР SRTM

ЦМР SRTM	Уклон, градус			
	мин.	макс.	средний	стандартное отклонение
Исходная	0	13,9	1,26	0,80
Скорректированная	0	7,3	1,06	0,63

Ранжирование территории по определённым уклонам с целью агроэкологической типизации земель показало значительное изменение площадей. Так, если по исходной ЦМР площадь пашни с уклоном <1° составляла 41%, то по данным скорректированной ЦМР SRTM она возросла до 54% за счёт сокращения площади пашни с уклоном 1–3° с 55% по данным исходной ЦМР до 45% – по данным скорректированной модели (табл. 3).

**Выводы.** Современные ГИС-технологии и данные дистанционного зондирования Земли являются важными элементами при проведении агроэкологической оценки земель. Однако необходимо учитывать особенности данных дистанционного зондирования Земли и применяемые методы геоинформационного анализа. В случае

3. Соотношение площади пашни Труновского района с различными уклонами по исходным и скорректированным данным ЦМР SRTM

Уклон пашни	Площадь пашни (%)	
	исходная ЦМР SRTM	скорректированная ЦМР SRTM
<1°	41	54
1–3°	55	45
3–5°	2	1
5–7°	1	0
>7°	0	0

использования данных радиолокационной съёмки высокого пространственного разрешения для морфометрического анализа территории необходимо проводить их корректировку с учётом особенностей расположения объектов на местности в период проведения съёмки для повышения точности результатов анализа.

**Литература**

- Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И. и др. Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография. Ставрополь, 2013. 520 с.
- Петрова Л.Н., Желнакова Л.И. Система сухого земледелия и пути её совершенствования в Ставропольском крае // Защитное лесоразведение и мелиорация земель в степных и лесостепных районах России (итоги и опыт за 50 лет, задачи на ближайшую перспективу: матер. Всерос. науч.-практич. конф. М., 1999. С. 66–72.
- Киришин В.И., Иванов А.Л. Методическое руководство по агроэкологической оценке земель, проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. М., 2005. 763 с.
- Сочава Б.В. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. 319 с.
- Булыган С.Ю., Ачасов А.Б., Лисецкий Ф.Н. Использование интегрального анализа данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа при картографировании почвенного покрова чернозёмной зоны // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2012. № 21 (140). С. 143–153.
- Селянинов Г.Т. Принципы агроклиматического районирования СССР // Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: Изд-во Мин. с.-х. СССР, 1958. С. 18–26.
- Лурье И.К. Геоинформатика. Учебные геоинформационные системы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 115 с.
- Тикун В.С. Основы геоинформатики: в 2-х кн. Кн. 1: учебное пособие для студентов вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 352 с.
- Пьянков С.В., Калинин В.Г. Метод вычисления линейных размеров раstra и порогового значения сумм направлений стока при построении гидрологически корректных ЦМР // Географический вестник. 2017. № 1 (40). С. 138–145. Doi 10/17002/2079-7877-2017-1-138-145.
- Trukhachev V.I., Esaulko A.N., Antonov S.A., Loshakov A.V., Sigida M.S. etc. Water Erosion Monitoring On The Territory Of Agrolandscapes Stavropol Territory By Remote Methods // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. November-December 2018. № 9(6). P. 1766–1769.