

Оценка точности спутниковой технологии определения площади сельскохозяйственных масок в схеме с использованием снимков различного разрешения

А.Г. Терехов

*Национальный центр космических исследований и технологий
Национальное космическое агентство, Республика Казахстан
ул. Шевченко 15, 050010, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

Определен уровень ошибок в технологии спутниковой оценки размера посевных площадей яровых зерновых культур в Северном Казахстане. Зерновые (пшеница и ячмень) представляют собой региональную монокультуру и возделываются на крупных полях (400 га). Технология оценки площади посевов базируется на использовании снимков различного пространственного разрешения: IRS LISS III (23 м) и EOS MODIS (250 м); с выделением двух классов: однолетние яровые культуры и другие классы. Однократное покрытие высоким разрешением используется для оценки площади полей составляющих сельскохозяйственную маску. Для масок размером свыше 15 тыс. га уровень ошибок составляет менее 3 % при достоверной вероятности 0,95. Ошибки распознавания яровых однолетних культур при анализе 4 летних мониторинговых данных MODIS составляют около 1 %. Таким образом, спутниковая технология оценки площади посевов яровых зерновых культур Северного Казахстана, используемая в интересах министерства сельского хозяйства, имеет уровень ошибок менее 4%.

Ключевые слова: спутниковые снимки, пространственное разрешение, сельскохозяйственные маски, ошибки, распознавание однолетних культур, пиксельный счет, площадь поля.

Введение

Спутниковая информация является источником объективной информации о параметрах сельскохозяйственного производства. В задачах контроля растениеводства данные дистанционного зондирования могут использоваться для выделения земель одного класса (сельскохозяйственные маски) или оценок состояния растительного покрова в рамках тех или иных масок. Точность спутниковых оценок играет ключевую роль, определяя ценность этого вида информации. Если точность полученных оценок ниже, чем межгодовая вариабельность параметров сельскохозяйственного производства, то практическая значимость таких методик невысока. В связи с этим, валидация методик анализа спутниковых данных играет чрезвычайно важную роль. В данной работе рассмотрена точность площадных оценок сельскохозяйственных масок в схеме с использованием снимков различного пространственного разрешения. Методика используется в рамках оперативного мониторинга параметров зернового производства Северного Казахстана по заказу министерства сельского хозяйства [1].

Схема использования спутниковых снимков различного разрешения

Сельскохозяйственные культуры возделываются на полях. Внутри поля состояние растительности в значительной мере выровнено. Одинаковые сроки агротехнических работ, один сорт культуры создают условия для близкого состояния растительного покрова на поле, при этом необходимо отметить, что границы полей обычно стабильны и редко меняются год от года.

В связи с этим, проблема оценки площади сельскохозяйственных масок распадается на две задачи [2]:

- первая, определение набора полей, формирующих сельскохозяйственную маску;
- вторая, оценка площади полей составляющих маску.

Требования к спутниковой съемке оптимальной для решения этих задач существенно различаются.

Первая задача, сводится к дешифровке типа землепользования поля, что требует подробного спутникового мониторинга (лучше ежедневного) необходимого для анализа динамики вегетации. На основе особенностей динамики проводится отнесение растительности на поле к тому или иному классу. При этом могут использоваться, как автоматические алгоритмы, так и экспертная дешифровка или комбинация обоих методик. Все зависит от сложности дешифрируемого класса, масштаба различий выделяющих его от других присутствующих типов растительности.

Вторая, задача требует однократного покрытия спутниковым снимком с возможно лучшим пространственным разрешением для более точной оценки формы и соответственно площади поля. Разрешение снимка, обеспечивающее достаточную точность спутниковых оценок площади поля, зависит от сложности агроландшафта (форма поля) и размера поля. Требования к периодичности картирования определяются существующей практикой связанной с перепланировкой полей. В Казахстане границы полей весьма консервативны, смена типа землепользования обычно проходит на масштабе целых полей, редко приводя к их дроблению, объединению или перепланировке.

Чем лучше пространственное разрешение спутниковой информации, тем уже полоса сканирования и соответственно реже происходит покрытие космической съемкой. Эта проблема особенно актуальна для крупных регионов, когда режим поворота сканера расположенного на орбитальной платформе (если такой существует) становится не эффективным.

Очевидно, что обе эти задачи могут решаться и в рамках спутниковых данных одного разрешения, но в этом случае параметры точности, как в задаче распознавания типа землепользования, так и в задаче оценки площадных характеристик будут не оптимальными.

Оценка площади сельскохозяйственных земель в Северном Казахстане

В Северном Казахстане монокультурное выращивание яровых зерновых культур (пшеница и ячмень) на крупных полях (400 га) расположенных компактными массивами создает максимально благоприятные условия для применения спутниковых данных в задаче контроля над основными параметрами сельскохозяйственного производства.

Оценка площади сельскохозяйственных масок Северного Казахстана проводимая ежегодно в интересах министерства сельского хозяйства основывается на спутниковых снимках двух типов:

- высокого разрешения: IRS LISS III (23 м), применяемых для картирования полей и оценке их площади;
- среднего разрешения EOS MODIS (канал 1,2; разрешение 250 м), используемых для дешифровки типа землепользования отдельных полей.

Данные высокого разрешения (2005 год) использовались в виде однократного мозаичного покрытия. Данные среднего разрешения накапливаются в архиве в виде ежедневных снимков, затем эта информация за период 4 последних лет (2005-2008) использовалась для классификации.

Разрешение снимков IRS LISS в 23 м отображает типичное поле (400 га) в виде матрицы размером 87x87 пикселей, что достаточно подробно и может обеспечить оценку его площади с высокой точностью. Типичное сельскохозяйственной поле в представлении MODIS (250 м) формирует матрицу 8x8 пикселей. Этого достаточно для распознавания отдельных полей и определения их средних спектральных характеристик, что необходимо для реконструкции динамики вегетации на поле и идентификации на этой основе типа землепользования.

В процедуре валидации использовалась территория Костанайской области Северного Казахстана, имеющая около 4 млн. гектар посевных площадей. На основе спутниковых данных

проводилось картирование полей, дешифровка типа их землепользования и построение различных сельскохозяйственных масок. Анализировались маски 2008 года двух основных сельскохозяйственных классов:

- 1) поля, отведенные под севооборот однолетних яровых культур;
- 2) многолетние культуры, залежи и поля коренного улучшения.

Точность спутниковых оценок площади полей проверялась по землеустроительной информации, а точность распознавания типа землепользования базировалась на информации наземного обследования 2008 года.

Спутниковая методика определения площади полей

Спутниковые данные высокого разрешения предоставляют детальную информацию о форме отдельного поля, наличия на его территории луговин, тумарин, болотин и иных включений, на территории которых выращивание культуры невозможно из-за переувлажнения. Спутниковые данные сопоставлялись с официальными планами землепользования с М 1:100000, на которых имелась информация об учетных размерах всех полей [3]. В этой работе в анализ включались только однородные поля (без включений инородных объектов), расположение и форма которых на спутниковых снимках и на планах землепользования была идентична, т.е. не было признаков перепланировки и изменения их границ в период между составлением плана и космической съемкой.

Спутниковые данные в географической проекции Ламберта, обеспечивающей равенство площади каждого пикселя, после ручной оцифровки полей использовались в методике подсчета их площади через пиксельный счет.

Разрешение спутниковой съемки в 23 м оставляет некоторую неопределенность в определении границ, а следовательно, и площади поля. Технологические дороги окружающие каждое поле имеют переменную толщину от 3 до 15 м. Это меньше разрешения снимка и поэтому не может быть определено на основе спутниковых данных. Приходится вводить специальный поправочный коэффициент для результатов, полученных простым пиксельным счетом с тем, чтобы учесть это обстоятельство. В разных местах типичная ширина технологических дорог может меняться, поэтому поправочный коэффициент также может иметь некоторые вариации.

Методика оценки точности в определении площади отдельного поля

На первом этапе было сформировано 7 выборок объемом по 30 полей каждая, общая информация по выборкам приведена в таблице 1. Для каждой выборки определялась эмпирическая зависимость между регистрационной площадью поля и площадью пикселей (пиксельный счет), отнесенных к полю в рамках имеющейся сельскохозяйственной маски. Строилось уравнение линейной регрессии (проходящее через начало координат) и определялся коэффициент корреляции и коэффициент линейной регрессионного уравнения. Уравнения линейной регрессии по выборкам имели следующий вид:

- 1) $Y = 0.9493 * X; c R^2=0,9794$
- 2) $Y = 0.9787 * X; c R^2=0,9912$
- 3) $Y = 0.9598 * X; c R^2=0,9752$
- 4) $Y = 0.9708 * X; c R^2=0,9779$
- 5) $Y = 0.9570 * X; c R^2=0,9662$
- 6) $Y = 0.9857 * X; c R^2=0,9798$
- 7) $Y = 0.9657 * X; c R^2=0,9794$

Величина коэффициента в уравнении линейной регрессии определяла величину поправочного коэффициента для выборки, применяемого для точной спутниковой оценке площади каждого поля в выборке. Смысл поправочного коэффициента - убрать закономерные различия между спутниковыми оценками и фактической площадью полей, т.е. привести величину коэффициента в уравнении линейной регрессии к значению 1,00. По семи выборкам, величины поправочных коэффициентов составляли:

- 1) 1,053;
- 2) 1,022;

- 3) 1,042;
 - 4) 1,030;
 - 5) 1,035;
 - 6) 1,0145;
 - 7) 1,0355;
- среднее значение 1,033.

Таблица 1. Характеристики 7 выборок (по 30 полей) использованных в процедуре валидации методики спутниковой оценки площади отдельного поля

№	Площадь поля [га]			Сумма площади 30 полей [га]	Коэффициент корреляции между спутниковыми наземными оценками площади поля [R ²]	Величина поправочного коэффициента для компенсации закономерных отклонений по выборке	Ошибка оценки площади поля [ρ- 95%] [%]	
	min	max	aver.					Фиксир Коэфф. К=1,033
1	183	625	432	12945	0,9794	1,053	5,87	7,84
2	80	629	363	10887	0,9912	1,022	6,71	7,46
3	276	617	434	13014	0,9752	1,042	5,54	8,97
4	156	640	399	11977	0,9779	1,030	8,47	11,52
5	200	504	405	12163	0,9662	1,035	4,69	7,10
6	183	614	413	12396	0,9798	1,0145	7,87	10,75
7	200	499	377	11318	0,9794	1,0355	7,06	10,16

Автоматическое резервирование на снимке под технологическими дорогами полос минимально возможной ширины в 23 метра (1 пиксель), теоретически должно формировать поправочный коэффициент равный 1,023. На практике его величина преломляется через ширину фактически существующих дорог, особенности алгоритма растрового картирования полей, когда под границу может отводиться полоса шириной более чем один пиксель.

Применение рассчитанного по выборке поправочного коэффициента к результатам пиксельного счета дало следующие ошибки в определении площади отдельного поля (по 7 выборкам).

1. 5,87 %
2. 6,71 %
3. 5,54 %
4. 8,47 %
5. 4,69 %
6. 7,87 %
7. 7,06 %

средняя ошибка 6,6 %.

Использование фиксированной средней (по семи выборкам) величины поправочного коэффициента (1,033) формирует несколько более высокий уровень ошибок по отдельным выборкам:

1. 7,84 %
2. 7,46 %
3. 8,97 %
4. 11,52 %
5. 7,10 %
6. 10,75 %
7. 10,16 %

средняя ошибка 9,1 %.

Таким образом, использование пиксельного счета с поправочным коэффициентом при определении площади отдельного поля в Северном Казахстане на базе обработки данных IRS LISS (разрешение 23 м) в оценках без смещения имеет ошибку около 9 %.

Методика оценки точности в определении площади групп полей

Полученный 9 процентный уровень ошибки в определении площади отдельного поля достаточно низок. Поскольку практически значимый интерес представляют крупные сельскохозяйственные объекты, маски посевных площадей районов (1-2 тысячи полей) или областей (15-20 тысяч полей), ошибки в определении площади на таком масштабе будут полностью определяться существованием или отсутствием закономерных смещений в оценках. Случайные отклонения за счет большого объема выборки станут несущественными.

Применение среднего значения поправочного коэффициента (1,033), дающего несмещенные оценки площади по набору из семи тестовых выборок, обеспечивает хорошую точность в оценке суммарной (по выборке) площади полей (таблица 2).

Смещенность оценок в случае больших масок будет полностью определяться величиной поправочного коэффициента, его корректностью для оцениваемой территории и потенциальной вариабельностью в различных частях маски. Для диагностики этого была рассмотрена вариабельность поправочных коэффициентов на масштабе 10-15 тысяч гектар по 7 имеющимся выборкам (объем каждой выборки примерно соответствует площади сельскохозяйственному округу). Величина поправочного коэффициента **K** и его вариации (с достоверной вероятностью 95 %) составили:

$$K=1,033\pm 0,031.$$

Таким образом, потенциальное смещение (закономерная ошибка) в оценках площади масок на масштабе 10-15 тысяч гектар (с\х округ) находится в пределах масштаба вариации поправочного коэффициента, который составляет около 3 %. Соответственно, можно ожидать, что ошибка в оценке площади маски размера 10-15 тыс. га также находится в пределах 3 %.

Ошибка в определении площади более крупных формирований полей, районных масок – 150-800 тыс. га, или областных – 3-4 млн. га должна уменьшаться, но по имеющимся данным не может быть корректно подсчитана. Она зависит от величины среднего поправочного коэффициента (1,033) к результатам пиксельного счета. Насколько правильно он характеризует всю анализируемую территорию; проводилось ли картирование полей везде однотипным образом; какова доля полей сложной формы, с наличием инородных объектов и т.д.

Таблица 2. Сравнение параметров полей по 7 выборкам со спутниковыми оценками

<i>№ выборки</i>	<i>Учетная площадь всех 30 полей выборки [га]</i>	<i>Спутниковая оценка суммарной площади выборки, [га]</i>	<i>Различия между учетной и спутниковой оценкой, [га]</i>	<i>Различия между учетной и спутниковой оценкой, [%]</i>
1	12945	12688	+257	1,99
2	10887	10989	-102	0,94
3	13014	12900	+114	0,88
4	11977	11981	-4	0,03
5	12163	12020	+143	1,18
6	12396	12590	-194	1,57
7	11318	11273	+45	0,40
Сумма всех выборок (210 полей)	84700	84441	+259	0,31

Оценка точности классификации распознавания типа землепользования полей

Распознавание типа землепользования основывается на реконструкции динамики вегетации. Анализ динамики позволяет выделять характерные особенности или ключевые даты, когда

различные типы землепользования имеют существенно отличающиеся спектральные характеристики, что позволяет осуществлять их дешифровку. В типичных случаях различия между основными типами землепользований Северного Казахстана (пахотные земли под однолетними яровыми культурами и многолетние травы и залежи) достаточно велики и дешифровка не встречает затруднений.

Наземные данные необходимые для валидации результатов спутниковой классификации были взяты из наземного маршрутного обследования с\х угодий в сезоне 2008 года.

Проблемой использование для анализа одногодичной спутниковой информации к региональным объектам, в которых присутствуют различные уровни агротехники возделывания культуры, почвенные различия, некоторые другие особенности (например, выгорание растительности на залежных полях) затрудняющие дешифровку. Но наиболее сильное воздействие может оказывать погодный фактор. В засушливых условиях спектральные образы яровых культур сильно деформируются, вплоть до полной невозможности распознавания культуры (в условиях засухи).

Анализ и построение наиболее востребованных достоверных сельскохозяйственных масок крупных регионов, где всегда присутствуют все возможные вариации агротехнической практики возделывания культуры, почвенные и погодно-климатические условия, требует многолетней информации. Засушливость отдельных мест, всегда присутствует в Северном Казахстане и в ее основных зернопроизводящих областях. Однако повторяемость засушливости условий в одних и тех же местах, где возделывается культура, обычно, не слишком велика. Иначе не было бы смысла в выращивании культуры в данном месте. Многолетний мониторинг позволяет преодолеть трудности связанные с искажением спектрального образа культуры под воздействием недостатка увлажнения.

Зернопаровой севооборот, преобладающий на этой территории, создает определенные закономерности в многолетней динамике зеленой биомассы на поле, и четырехлетний мониторинг позволяет использовать эту особенность при дешифровке, что повышает достоверность основных сельскохозяйственных масок.

Ошибка дешифровки при выделении двух основных классов сельскохозяйственных земель: пашня под однолетними яровыми культурами (культура и пары) и остальное (многолетние культуры, залежи) при анализе мониторинговых данных MODIS за 2005-2008 гг. года составляет около 1 %, см. таблицу 3.

Таблица 3. Матрица ошибок при распознавании основных типов землепользования полей на основе мониторинговых спутниковых (2005-2008) данных среднего разрешения (MODIS, 250 м). Наземная информация получена в результате маршрутного обследования 2008 года.

<i>С</i> <i>П</i> <i>У</i> <i>Т</i> <i>Н</i> <i>И</i> <i>К</i>	<i>ПОЛЯ</i>	<i>Наземная информация</i>			<i>Точность классификации</i>
		<i>Зерновые+пары</i>	<i>Травы+залежи</i>	<i>Всего</i>	
	<i>Зерновые +пары</i>	243	0	243	100,0 %
	<i>Травы+залежи</i>	3	109	112	97,3 %
	<i>Всего</i>	246	109	355	
	<i>Точность наземных данных</i>	98,8 %	100,0 %		99,2 %

Заключение

Схема оценки площади сельскохозяйственных масок с использованием спутниковых данных двух разрешений представляется эффективной для Северного Казахстана на различных пространственных масштабах, вплоть до регионального (10 млн. га). В рамках этой схемы, задача расчета площади образующих маску полей базируется на однократном покрытии спутниковыми снимками высокого разрешения (IRS LISS, 23 м). Задача определения набора полей, образующих маску – на четырехлетнем ежедневном мониторинге среднего разрешения (MODIS, 250 м).

Уровень ошибок по задаче определения площади полей составил около 3 % на масштабе масок размером в 10-15 тыс. га [достоверная вероятность 95%]. С увеличением размера маски

можно ожидать, что уровень ошибок снизится. Т.е. для сельскохозяйственных масок районного масштаба (200-800 тыс. га), областного (3-4 млн. га) или региона в целом (10 млн. га), 3% -уровень ошибки может рассматриваться как ее верхний предел.

Ошибка распознавания класса землепользования поля, при дешифровке двух ее основных типов: севооборот однолетних яровых культур и многолетние культуры с залежами и коренным улучшением; составила около 1 %.

Таким образом, ошибки спутниковой технологии построения основных сельскохозяйственных масок и оценки их площадей в Северном Казахстане на масштабе от сельскохозяйственного округа и выше не превышают 4 %, при уровне достоверной вероятности в 95%.

Литература

1. *Sultangazin U., N. Muratova, A. Terekhov.* Monitoring and assessment of spring crops in Kazakhstan // In "Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries". Ed. Savin I., Negre T., EUR 22210, 2006, p.85-104.

2. *Терехов А.Г., Юсупова А.С., Зинченко Е.А., Муратова Н.Р.* Оперативная инвентаризация яровых посевов Северного Казахстана на базе спутниковых данных MODIS и IRS LISS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Вып. 4. Т. II. С. 365-371.

3. *Терехов А.Г.* Сопоставление землеустроительных и спутниковых данных IRS LISS о размерах полей в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2008. Вып. 5. Т. II. С. 358-363.

Estimation of accuracy of satellite definition of cropland in framework of method with using of different resolution data

A.G. Terekhov

*National Center of Space Research and Technology
National Space Agency of Kazakhstan*

The level of errors in the technology of a satellite estimation of the spring cropland acreage in Northern Kazakhstan was rated. The spring wheat and barley are a regional monoculture and cultivated on large fields (400 hectares). The technology of the satellite data analysis is based on use of the different spatial resolution images: IRS LISS III (23 m) and EOS MODIS (250 m); with allocation of two classes: annual spring cultures and other classes. The separate fields form an agricultural mask. The single covering by the high resolution images is used for an estimation of the fields' sizes. For agriculture masks in the size from above 15 thousands of hectares the errors level is rated less than 3 % with probability of occurrence is equal 0,95. The errors of recognition of spring annual cultures at the analysis of 4 years MODIS monitoring data are rated as about 1 %. Thus, the satellite technology of an estimation of the spring cropland acreage in Northern Kazakhstan, used in interests of the Ministry of Agriculture of Kazakhstan, has a level of summary errors less than 4 %.

Keywords: Satellite images, space resolution, agriculture masks, errors, annual cultures recognition, pixel count, field area.