

# Принципы агроландшафтного районирования пахотных земель степной зоны Северного Казахстана на базе данных MODIS и IRS LISS

А.Г. Терехов, Н.Ю. Цычуева, Н.Р. Муратова

*Институт космических исследований ЦАФИ МОН,  
ул. Шевченко, 15, Алматы, 050010, КАЗАХСТАН  
E-mail: [aterekhov1@yandex.ru](mailto:aterekhov1@yandex.ru)*

Спутниковые данные IRS LISS (каналы 2: 620-680 нм; 3: 770-860 нм) с разрешением 23 м и EOS MODIS (каналы 1: 620-670 нм; 2: 841-876 нм) с разрешением 250 м использовались для учета особенностей ландшафта пахотных земель степной зоны Северного Казахстана. На примере северной части Сандыктауского района Акмолинской области на масштабе отдельных полей уточнялись ландшафтные особенности, влияющие на агротехнику возделывания яровых зерновых культур. Спутниковые данные применялись для оценки условий весеннего снеготаяния, интенсивности процессов водной эрозии и расчета средней продуктивности зерновых полей.

## Введение

Агроландшафтное районирование имеет практическую цель оптимизации технологии выращивания зерновых культур через тонкий учет ландшафтных особенностей территорий (особенностей зимнего снегонакопления, весеннего снеготаяния, интенсивности проявлений ветровой и водной эрозии и др.). Известно, что из-за особенностей ветрового переноса на слабонаклоненных и слаборасчлененных равнинах степной зоны Северного Казахстана имеются закономерные различия в условиях зимнего снегонакопления. В условиях засушливого климата зимний запас влаги оказывает существенное влияние на общую увлажненность пахотных земель в течение вегетационного периода, влияя на урожайность неполивных зерновых культур. Осенне-весенние агротехнические мероприятия могут включать или не включать различные операции: поднятие зяби, снегозадержание, закрытие влаги и пр. Научно обоснованная оптимизация работ способна давать финансовый результат без ущерба для урожайности.

Проведение агроландшафтного районирования отдельного хозяйства с площадью пашни 10-20 тыс. гектар наземными методами весьма трудоемко: многолетние снегомерные съемки по многим профилям; инвентаризация полей для учета проявлений ветровой и водной эрозии; анализ топографии хозяйства с типичным перепадом высот менее 100 м на 10 км, требующий крупномасштабных планов; и пр. Спутниковые данные высокого и среднего пространственного разрешения могут значительно упростить и ускорить проведение районирования.

## Территория обследования

В качестве тестовой территории использовались пахотные земли бывшего Балкашинского района Акмолинской области (около 300 тыс. га), рис.1. В последней редакции административного деления области Балкашинский район вошел в Сандыктауский в качестве его северной части. Пахотные земли тестовой территории расположены в степной зоне Северного Казахстана с перепадом высот 300-460 м над уровнем моря. Север территории примыкает к лесостепной зоне. Почвы темно-каштановые и южный чернозем, обычно тяжелого механического состава.

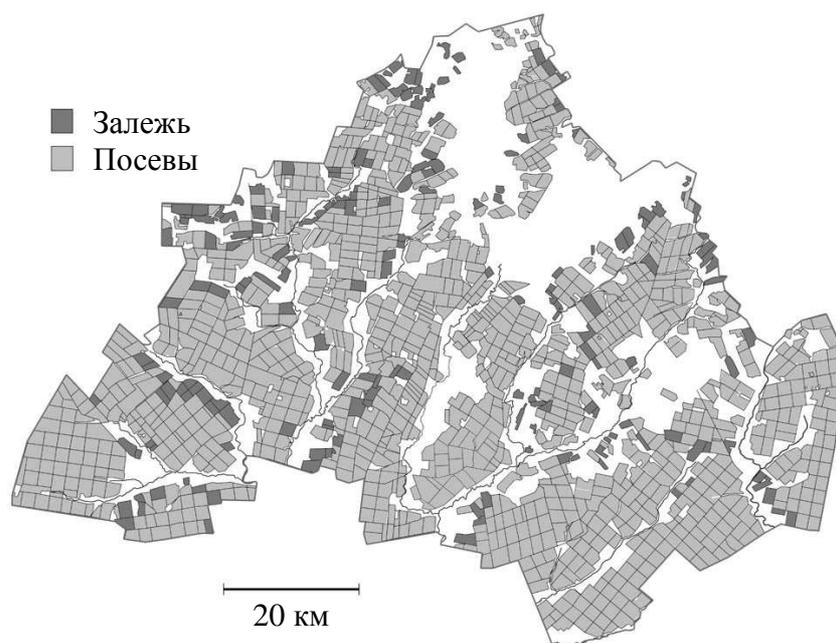


Рис. 1. Тестовая территория – северная часть Сандыктауского района Акмолинской области

### Спутниковые данные

Спутниковые данные IRS LISS с разрешением 23 м (1 канал: 520-590 нм; 2 канал: 620-680 нм; 3 канал: 770-860 нм) и MODIS с разрешением 250 м (1 канал: 620-670 нм; 2 канал: 841-876 нм) использовались в задаче агроландшафтного районирования.

В период активного весеннего снеготаяния (начало апреля) снежный покров теряет свою целостность, распадаясь на систему пятен. При этом коэффициенты отражения подстилающей поверхности в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах начинают сильно зависеть от среднего проективного покрытия снегом. Снимки MODIS, конца марта – начала апреля (2004, 2005, 2006 годов), псевдоцветной композит (RGB 211), позволяют проводить районирование территории по условиям зимнего снегонакопления, выделяя участки с близким уровнем снежного проективного покрытия.

Летние снимки MODIS (середина июля – начало августа) в виде вегетационного индекса дают возможность оценивать общий объем зеленой биомассы на полях, что является показателем их плодородия.

Весенние и летние снимки IRS LISS в виде псевдоцветного композита RGB 322 можно использовать для картирования потяжин (временных водотоков заполняемых при интенсивном весеннем снеготаянии), которые хорошо выделяются на пахотных массивах в виде системы каналов с повышенной влажностью почв по структуре напоминающих речную сеть. Численные характеристики длин потяжин на полях характеризуют интенсивность процессов водной эрозии.

### Анализ снежного покрова

Уровень почвенного увлажнения – первый значащий фактор, определяющий продуктивность яровых культур в условиях рискованного земледелия Северного Казахстана. Снежный покров

степной зоны формируется на характерном объеме твердых осадков в 100-250 мм. В этих условиях образуется тонкослойный покров, имеющий свои особенности при весеннем снеготаянии. Солнечная радиация проникает насквозь тонких слоев снега (менее 30 см) и поэтому процесс снеготаяния идет не только на поверхности снега, но и на поверхности почвы.

Календарные даты весеннего снеготаяния, определяемые по спутниковым данным, могут быть источником косвенной информации о фактическом запасе продуктивной влаги в почве в предпосевной период. Время снеготаяния фактически определяется не только температурой, влажностью воздуха, скоростью ветра и другими факторами на поверхности земли, но и теплоемкостью почвенного слоя, что в свою очередь определяется его влажностью. Таким образом, динамика и пространственные особенности весеннего схода снежного покрова косвенно несут в себе информацию о весеннем влагозапасе почв. При прочих равных условиях, более влажные почвы теряют снежный покров позже. Поэтому реконструкция динамики весеннего снеготаяния на основе спутниковых данных позволяет оценивать фактически сложившиеся особенности снегоотложения в анализируемом году.

Активная фаза снеготаяния в степной зоне Казахстана приходится на март-апрель. Время от начала появления проталин до полного исчезновения снежного покрова варьируется в зависимости от погодных условий и составляет в степной зоне Северного Казахстана около 5-15 дней. В этот период доля проталин, четко регистрируемая со спутника по коэффициенту отражения подстилающей поверхности и связанная с количеством снега, позволяет достаточно точно оценить пространственные особенности отложения снега. Простым пороговым алгоритмом были выделены 7 классов яркости снежного покрова на анализируемых спутниковых снимках (рис. 2), которые объединяют территории с близкими условиями снеготаяния.

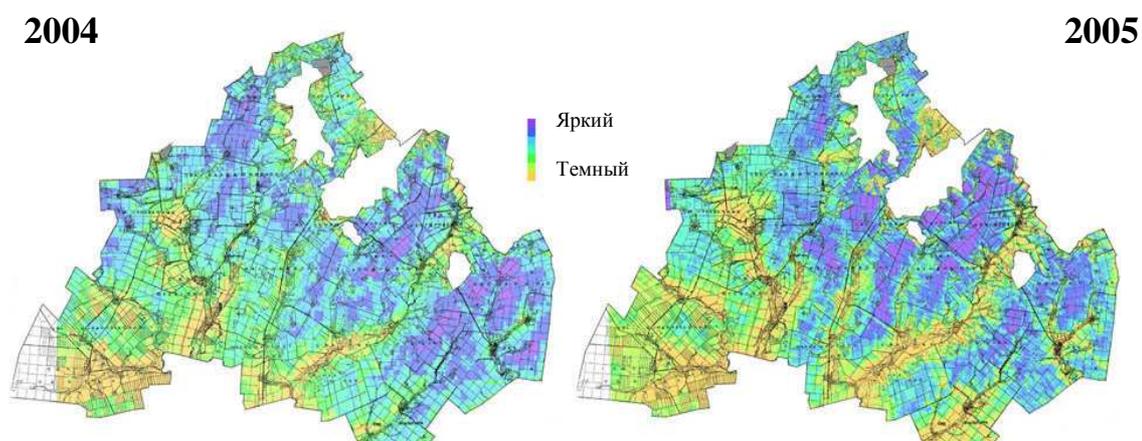


Рис. 2. Результат 7-классового районирования тестовой территории по яркости снежного покрова на снимке в период активного снеготаяния в сезонах 2004 (12 апреля) и 2005 (19 апреля) гг. Данные EOS MODIS (2 канал: 841-876 нм, разрешение 250 м)

На рис. 3-4 представлена зависимость яркости снега на снимке периода активного снеготаяния от высоты местности и экспозиции склона. Инструментально регистрируются закономерные различия в яркости снега (в проективном покрытии) даже при увеличении высоты местности всего на 20 м (ожидаемое изменение средней температуры воздуха на 0,12 градусов).

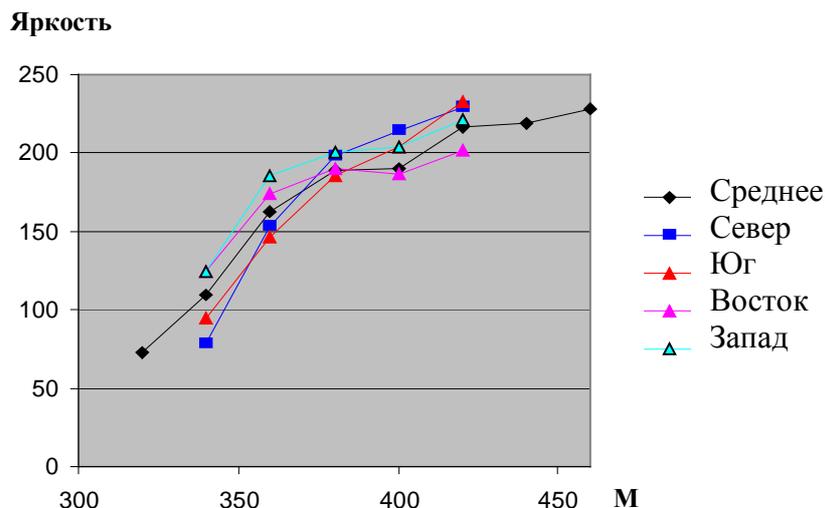


Рис. 3. Влияние высоты местности тестовой территории на относительную яркость снежного покрова по 4 основным направлениям экспозиции. Данные EOS MODIS канал 2: 841-876 нм, разрешение 250 м, 1 апреля 2006 года

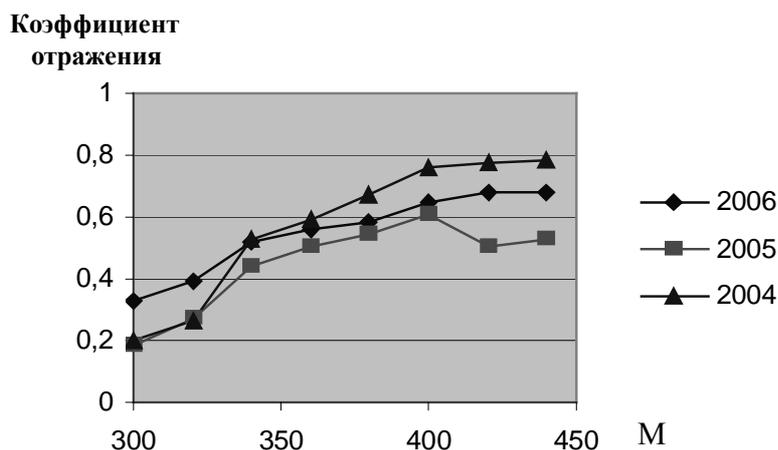


Рис. 4. Влияние высоты местности тестовой территории на средний коэффициент отражения снежного покрова во 2 канале (841-876 нм) MODIS в сезонах 2004-2006 гг.

### Анализ проявлений водной эрозии

Процессы водной эрозии почвы в степной зоне Северного Казахстана по материалам космической съемки можно регистрировать с помощью данных высокого разрешения, например IRS PAN (разрешение 6 м), IRS LISS (разрешение 23 м) или LANDSAT-TM (разрешением 30 м). Наиболее информативны весенние пролеты, рис.5, на которых проявления процессов водной эрозией дешифрируется наиболее уверенно. Выделение водно-эрозионных линейных структур основано на различиях в спектральных характеристиках полей и непосредственно в прилегающих к ним склонов. Спектральные особенности формируются различиями в поверхностном увлажнении почв, неодинаковым развитием вегетации и т.д. Наилучшим диапазоном является ближний инфракрасный канал, в котором, как поверхностная влажность почв, так и зеленая вегетация хорошо выделяются.

Линейная водная эрозия на зерновых полях представлена разномасштабными структурами, которые постепенно измельчаясь переходят в элементы плоскостного смыва. Спутниковые снимки в зависимости от их пространственного разрешения, текущей влажности поверхности почвы, развитости и расположения вегетации в зоне потяжины позволяют дешифровать только некоторую часть эрозионной системы. С уменьшением масштаба эрозионных проявлений, контрасты яркости на снимке уменьшаются, и в конце концов становятся сопоставимыми со уровнем, вызванными другими причинами.

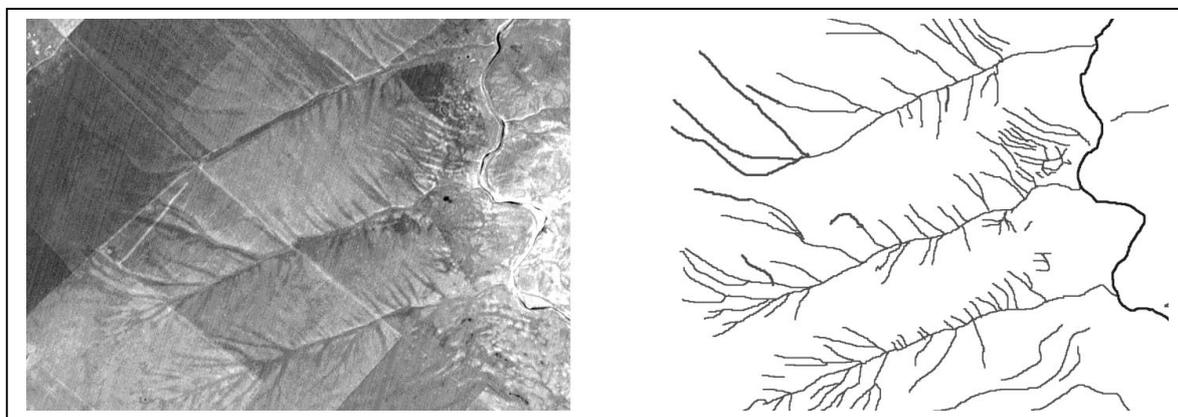


Рис. 5. Часть снимка IRS-Pan (разрешение 6 м) за 27 июля 2005 и результат дешифровки и оцифровки соответствующей структуры промоин (красный цвет) и речной сети (синий цвет). Фрагмент Акмолинской области

Таким образом, спутниковые данные позволяют проводить дешифрирование эрозионной сети в определенном диапазоне ее масштаба, пропуская мелкомасштабные структуры. Порог отсечения не носит универсального характера, являясь индивидуальным параметром для каждого снимка. В связи с этим, сопоставительный количественный анализ интенсивности проявлений водной эрозии различных территорий желательно проводить в рамках одного снимка. Сравнение нескольких разновременных снимков возможно при условии проведения наземного обследования для согласования диапазонов масштабов дешифрируемых линейных водно-эрозионных систем.

Сельскохозяйственные земли степной зоны Северного Казахстана, используемые под выращивание яровых зерновых культур на богаре, характеризуются умеренно засушливым климатом и значительной выравненностью ландшафта. Небольшие наклоны (до 5 градусов) препятствуют развитию элементов водной эрозии в течение вегетационного сезона. Даже ливневые летние осадки, из-за их относительной редкости и непродолжительности, не приводят к водно-эрозионному повреждению земель. Линейные элементы водной эрозии на сельскохозяйственных полях развиваются в весенний период отдельных лет, когда бурное снеготаяние проходит по замерзшей, неспособной впитывать воду, почве. В этом случае даже наклон в 0,5 градуса способен формировать агрессивный сток, повреждающий почвенный покров, особенно на паровых полях.

Процессы водной эрозии весьма динамичны и нуждаются в оценке текущего состояния: степени развитости, потенциальной предрасположенности территории, агрессивности смыва и т.д. Можно выделить два основных направления негативных последствий водной эрозии.

- Первый, плоскостной перенос верхнего, наиболее плодородного, слоя почвы с талыми водами. По динамике, это достаточно медленный процесс, развивающийся в той или иной степени каждой весной.

- Второй, повреждение транзитными талыми водами территорий, расположенных в основном в подошвах склонов. Весенний сток, аккумулированный на вышерасположенных склонах практически каждый год, в той или иной степени повреждает поля. При интенсивном стоке повреждение может приобретать существенные размеры: рытвины, глубиной свыше 1 м, конусы выноса мелкозема.

Комплекс водно-эрозионных явлений по первому направлению не создает существенных проблем для текущего землепользования. Научно обоснованные методы современного земледелия должны содержать мероприятия по профилактике этих явлений: ориентация сева поперек склона, щелевание паровых полей, ландшафтно-согласованная схема снегозадержания и пр.

Комплекс водно-эрозионных явлений по второму направлению может создавать существенные проблемы для текущего землепользования. Осуществление профилактических мероприятий на верхних частях склонов способно уменьшить масштабы проявления водной эрозии в подошвах, однако информация о потенциальной предрасположенности земель к повреждению весенним стоком является важной характеристикой поля.

Оценка опасности повреждения поля талыми водами может основываться на суммарной длине потяжин замыкающихся на поле. Она может даваться, как в виде полной длины потяжин, проходящих к полю, с размерностью – [метр] (рис.6а), так и ее удельного значения, учитывающего размер самого поля – [метр/ гектар] (рис.6б).

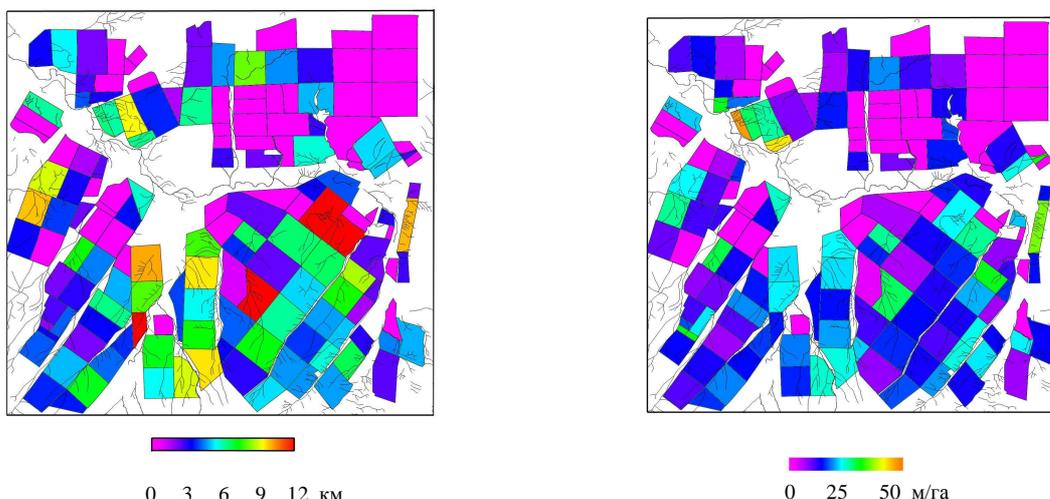


Рис. 6. А - Суммарная длина сети потяжин, замыкающихся на поле. Б - Удельная длина сети потяжин, замыкающихся на поле. Фрагмент тестового полигона. По данным обработки снимка IRS LISS (6 августа 2005)

### Продуктивность зерновых полей

Потенциальная продуктивность поля одна из важнейших агроландшафтных характеристик, определяющая оптимальную агротехнику возделывания культуры.

Погодные условия в момент прохождения ключевых фаз развития зерновых культур (всходы, кущение, выход в трубку, колошение и налив зерна) определяют взаимосвязь между величинами спутникового вегетационного индекса и продуктивностью культуры. Хорошая степень развития листового покрытия может сопровождаться мелким колосом и наоборот, относительно незначительное листовое покрытие при определенных погодных условиях способно формировать крупный колос и соответственно хороший урожай. Поэтому, ежегодно необходимы наземные обследования для учета влияния особенностей погодных условий на урожайность зерновых культур текущего года. На базе спутниковых карт прогнозной урожайности зерновых культур 2003, 2005 и 2006 гг. был проведен анализ потенциальной урожайности части полей тестовой территории.

Принцип оценки базировался на величине накопленной суммы урожайностей поля в течение трех лет, где под урожайностью понималась ее спутниковая оценка.

Учет закономерной цикличности в объемах зеленой биомассы на полях используемых в рамках зернопарового севооборота требует статистически значимой представительности всех основных фаз севооборота (первая, вторая, третья, четвертая и более культур после пара). В связи с ограниченной исторической глубиной имеющейся выборки, анализировались наиболее однородные данные – поля шестой и более культуры после пара. Оценка потенциальной продуктивности по-

лей была огрублена по величинам накопленной за три года урожайности до трех классов: менее 32 ц/га; 32-40 ц/га; свыше 40 ц/га. Отсутствие доминирующей мозаичности и определенная пространственная зональность в распределении потенциальной продуктивности полей внутри тестовой территории говорит о перспективности такого подхода, рис.7.

Агроландшафтное районирование степной зоны Северного Казахстана учитывает процесс весеннего снеготаяния, который влияет на общую влагообеспеченность вегетационного сезона и соответственно на класс агроландшафта. Спутниковые данные весеннего снеготаяния в сезоне 2005 года, рис.2, были сопоставлены с полученными классами продуктивности полей Балкашинского района (рис.7).

Внутри территории каждого класса продуктивности зерновых культур определялась средняя величина яркости снежного покрова на 19 апреля 2005 года, рис. 8.

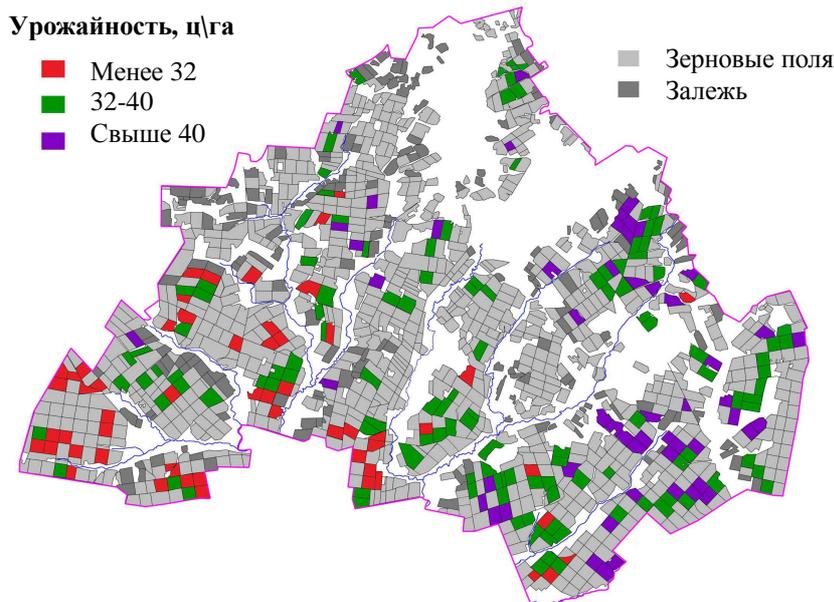


Рис. 7. Три класса накопленной в период 2003, 2005 и 2006 гг. урожайности по шестым и более культурам после пара. Балкашинский район Акмолинской области, спутниковые данные MODIS

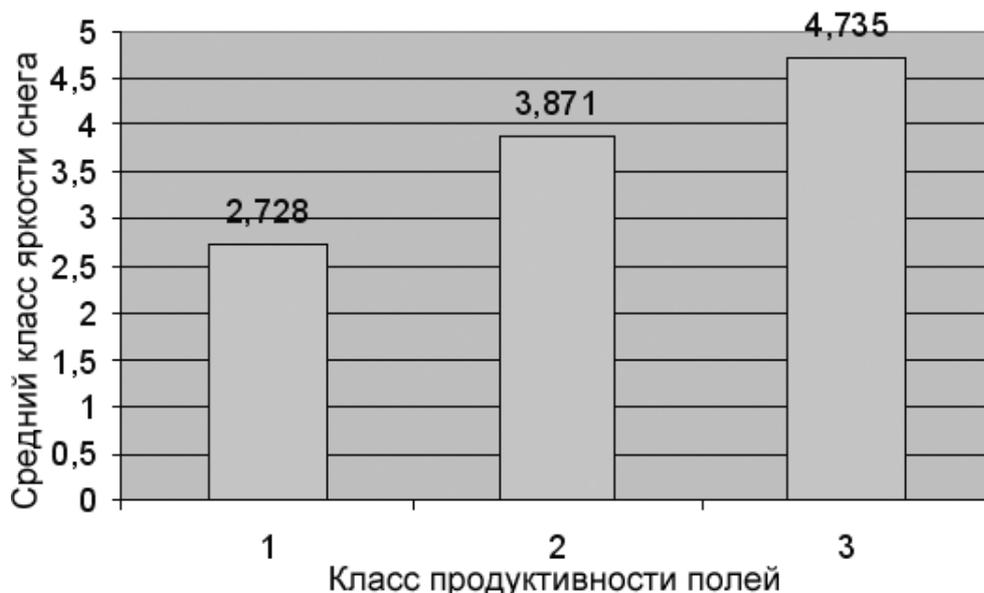


Рис. 8. Средняя яркость снежного покрова на 1 апреля 2006 года на полях различных классов продуктивности (1 – менее 32 ц/га, 2 – 32-40 ц/га, 3 – свыше 40 ц/га) на территории Балкашинского тестового полигона (накопленная сумма урожайностей 2003, 2005, 2006 гг.). По данным EOS MODIS (канал 2: 841-876 нм)

## **Выводы**

Таким образом, спутниковые данные высокого и среднего разрешения можно использовать для накопления информации о снежном покрове, процессах водной эрозии и средней продуктивности пахотных земель в степной зоне Северного Казахстана. Эти данные могут использоваться для экспертного агроландшафтного районирования и выработки рекомендаций по оптимизации технологии выращивания яровых зерновых культур.