

форм летних – 23-25°C, позднелетних – 17-20°C, а у осенних – при 10-15°C.

ства сельского хозяйства Азербайджанской Республики. – Баку, 2018. – № 2. – С. 52-58.

### Библиографический список

1. Раджабли А.Д. Плодовые культуры в Азербайджане. – Баку, 1966. – 246 с.
2. Худавердиев Ф.П. Выявление разнообразия сортов и форм персика в Нахчыванской Автономной Республике и изучение биологических особенностей наилучших из них: дис. ... канд. с.-х. наук. – Ереван, 1980. – 150 с.
3. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур ВНИИС им. И.В. Мичурина. – Мичуринск, 1980. – С. 532.
4. Программа и методика интродукции и сортоизучения плодовых культур. – Кишинев: Штинца, 1972. – 530 с.
5. Роллов А.Х. Очерк плодоводства Эриванской губернии // Сб. сведений по плодоводству в Закавказском крае. – Тифлис, 1889. – Вып. 2. – 246 с.
6. Багиров О.Р. Хозяйственно значимые косточковые фруктовые растения Нахчыванской Автономной Республики // Тр. Нахчыванского отделения Национальной академии наук Азербайджана, Серия естественных и технических наук. – Нахчыван. – 2015. – № 4. – С. 130-138.
7. Бейяхмедов И.А. Возделывание прогрессивной технологией орехоплодных и косточковых плодовых культур в условиях Куба-Хачмасской зоны // Научно-теоретический журнал министер-

### References

1. Radzhabli A.D. Plodovye kultury v Azerbaydzhane. – Baku, 1966. – S. 246.
2. Khudaverdiev F.P. Vyyavlenie raznoobraziya sortov i form persika v Nakhchyvanskoy Avtonomnoy Respublike i izuchenie biologicheskikh osobennostey nailuchshikh iz nikh: diss. ... kand. s.-kh. nauk. – Yerevan, 1980. – 150 s.
3. Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur VNIIS im. I.V. Michurina. – Michurinsk, 1980. – S. 532.
4. Programma i metodika introduktsii i sortoizucheniya plodovykh kultur. – Kishinev: Shtintsa, 1972. – S. 530.
5. Rollov A.Kh. Ocherk plodovodstva Erivanskoy gubernii (Sb. svedeniy po plodovodstvu v Zakavkazskom krae). Vyp. 2. – Tiflis, 1889. – S. 246.
6. Bagirov O.R. Khozyaystvenno znachimye kostochkovye fruktovye rasteniya Nakhchyvanskoy avtonomnoy Respubliki // Tr. Nakhchyvanskogo otdeleniya Natsionalnoy akademii nauk Azerbaydzhana, Seriya estestvennykh i tekhnicheskikh nauk. – Nakhchivan. – 2015. – № 4. – S. 130-138.
7. Beyakhmedov I.A. Vozdelyvanie progressivnoy tekhnologiyey orekhoplodnykh i kostochkovykh plodovykh kultur v usloviyakh Kuba-Khachmasskoy zony // Nauchno-teoreticheskiy zhurnal Ministerstva selskogo khozyaystva Azerbaydzhanskoy Respubliki. – Baku, 2018. – № 2. – S. 52-58.



УДК 332.234.4:631.1

Т.В. Байкалова  
T.V. Baykalova

## МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЗЕМЛЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## MONITORING AND EVALUATION OF DEVELOPMENT DYNAMICS OF EROSION PROCESSES ON AGRICULTURAL LANDS

**Ключевые слова:** эрозия почв, мониторинг эродированных земель, охрана земель, процессы деградации почвенного покрова, дистанционное зондирование, картографирование, геоинформационные технологии.

**Keywords:** soil erosion, eroded land monitoring, land protection, soil cover degradation processes, remote sensing, mapping, geoinformational technologies.

Рассматривается возможность применения космических изображений и результатов их тематической обработки для мониторинга и прогноза динамики развития эрозионных процессов на тестовой территории Курьинского района Алтайского края. В процессе исследований использовалась методика обработки разновременных изображений, основанная на автоматизации выделения линий эрозии, результаты которой позволили эффективно оценить скорость деградации эродированных земель и спрогнозировать дальнейшее развитие эрозионной сети. Анализ и оценка динамики развития эрозии на данной территории необходимы для планирования охранных и противоэрозионных мероприятий с целью рационального перспективного использования земельного фонда и максимального повышения продуктивности сельскохозяйственных земель.

The possibility of application of space images and results of their thematic processing for monitoring and the forecast of development dynamics of erosion processes in the test area of the Kuryinskiy District of the Altai Region is discussed. In the course of the research, the technique of processing images taken at different times based on automated determination of erosion lines was used. The research findings enabled to effectively estimate the rate of degradation of the eroded lands and to forecast the further development of erosion network. The analysis and evaluation of the development dynamics of erosion in this territory are necessary for planning of soil protection and anti-erosion measures for the purpose of rational future use of the land fund and the maximum increase of farmland efficiency.

**Байкалова Татьяна Викторовна**, к.г.н., доцент, зав. каф. геодезии и инженерных сооружений, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-31-17. E-mail: tan.space@mail.ru.

**Baykalova Tatyana Viktorovna**, Cand. Geo. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Geodesy and Engineering Structures, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-31-17. E-mail: tan.space@mail.ru.

### Введение

Выявление и оценка эродированных и эрозионно-опасных земель, а также защита почв от эрозии – одна из главных проблем рационального природопользования. Эрозия почв – это процесс разрушения верхних наиболее плодородных горизонтов почв и подстилающих пород талыми, дождевыми водами (водная эрозия) и ветром (ветровая эрозия или дефляция почв, выдувание), которая при нерациональном использовании земель приобретает широкие масштабы. В Алтайском крае деградация почвенного покрова относится к основным экологическим проблемам и становится серьезным препятствием для развития сельского хозяйства. В крае значительную часть сельскохозяйственных угодий представляют почвы, которые оцениваются как эрозионно-опасные. Усиление эрозионных процессов обусловлено резким уменьшением защитных функций естественной растительности и противоэрозионной устойчивости почв, подвергшихся длительному хозяйственному воздействию. Если принять во внимание высокую распаханность территории, то действие эрозии в значительной мере снижает ресурсный потенциал земель.

Деградационные процессы, происходящие на землях сельскохозяйственного назначения, связаны не только с режимом их использования, но и с нерациональной организацией территорий, где в процессе сельскохозяйственного производства задействована значительная часть земель, ранее считавшихся малопродуктивными, освоение которых

происходит без учета специфики природных условий и особенностей территориального развития [1]. Поэтому выявление эродированных земель и оценка динамики их развития по материалам оперативной космической съемки позволят в короткие сроки выполнить большой объем работ по получению современной информации о состоянии почвенного покрова в картографическом виде для решения природоохранных задач и значительно снизить экономические затраты и затраты рабочего времени на проведение подобных исследований.

### Объекты и методы исследования

Оценка хозяйственной деятельности человека по результатам обработки аэрокосмической информации – направление достаточно новое и сегодня интенсивно развивается. В настоящее время мониторинг земель с применением материалов дистанционного зондирования как метод пространственного анализа активно используется в различных областях науки, особенно при изучении деградационных процессов земель сельскохозяйственного назначения и определении мер по их защите. При разработке мероприятий по защите почв от эрозии необходимо учитывать особенности динамики развития эрозионных процессов в конкретных территориальных условиях [2]. Объектом исследований является тестовая территория, расположенная в 3 км по направлению на северо-запад от села Усть-Таловка Курьинского района Алтайского края. Выбор участка обуслов-

лен тем, что на данную территорию имеются материалы космической съемки высокого разрешения с периодом в 20 лет.

Курьинский район расположен в юго-западной части Алтайского края. Общая площадь территории составляет 2473,5 км<sup>2</sup>. Общая площадь сельскохозяйственных угодий – 189756 га. Из них пашня занимает 99586 га, сенокосы – 15502, пастбища – 66572, залежь – 8096 га. Ландшафт района сочетает равнинные, предгорные и горные природные комплексы. Большая часть Курьинского района располагается в пределах степной зоны равнин и части предгорий. Пахотные земли преобладают в равнинной части Курьинского района. Самыми распространенными почвами здесь являются черноземы обыкновенные и выщелоченные. Обыкновенные черноземы характеризуются большой мощностью гумусового горизонта (45-60 см) и высоким содержанием гумуса (6-7%). Небольшими участками по всей равнинной территории располагаются лугово-черноземные почвы, сходные с черноземами, но отличающиеся от них близким залеганием грунтовых вод к поверхности и большей плодородностью (содержание гумуса 7-8%). Предгорная и горная часть представлена в основном горными черноземами с содержанием гумуса 5-7%.

Для решения задачи выявления и оценки динамики развития эрозионных процессов сельскохозяйственных территорий мониторинга и охраны эродированных земель использовались следующие методы:

- автоматизированного цифрового картографирования эрозионных процессов по материалам архивных и оперативных данных дистанционного зондирования;
- фототриангуляции для построения цифровой трехмерной модели рельефа по данным дистанционного зондирования;
- расчета вегетационного индекса растительности;
- прогноза и оценки увеличения длины эрозионной сети;
- геоинформационных технологий для создания тематического картографического материала по результатам проведенных исследований.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки динамики эрозионных процессов использовались космические фотографические снимки тестовой территории, полученные в 1997 и в 2017 гг. с разрешением 2 м.

Эрозионные процессы проявляются на космических снимках за счет разности в значениях яркостных характеристик, которая возникает в результате выхода на поверхность более глубоких светлых горизонтов почвы или увеличения биомассы растительности, которое связано с намывом плодородной почвы в местах движения водных потоков. В этом случае характер спектрального отражения от такой поверхности изменяется. При линейной эрозии, когда разрушению подвергаются очень большие толщи почвы, изменениям величин интегрального отражения сопутствуют изменения тональности окраски (рис. 1а). При проявлении поверхностной эрозии величины спектрального коэффициента отражения пропорционально возрастают на всех длинах волн, что, в свою очередь, приводит к изменениям интенсивности изображения (рис. 1б).

а

б

**Рис. 1. Линейная и поверхностная эрозия на космических снимках 1997 г. (а) и 2017 г. (б)**

Процессы водной эрозии почвы можно дешифровать на сезонных снимках, полученных в весенне-осенний период. На весенних снимках

очень хорошо дешифрируются сильно эродированная почва и участки поверхностной эрозии благодаря более низким значениям яркости за счет избыточного увлажнения. На осенних снимках выделяются только овраги с размывостью почвы до почвообразующей породы. В этом случае основным дешифровочным признаком линейных эрозионных процессов является характерная форма изображения. На летних снимках ближнего инфракрасного диапазона хорошо выделяются участки, подвергающиеся малому смыву. На этих участках почва содержит большой процент гумуса, так как после схода талых вод образуются трещины, которые впоследствии заполняются материалом гумусово-аккумулятивного горизонта. По направлению смыва наблюдается повышение значений яркости изображения, что соответствует увеличению биомассы растительности [3, 4]. Это обстоятельство позволяет использовать для наиболее достоверного дешифрирования эрозии показатель вегетационного индекса растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Вегетационный индекс рассчитывается как отношение математической разности и суммы спектральной отражательной способности растений в красной зоне спектра (0,63-0,69 мкм) и ближней инфракрасной зоне (0,75-0,90 мкм).

Индекс вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{L_2 - L_1}{L_2 + L_1},$$

где  $L_2$  – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра;

$L_1$  – коэффициент отражения в красной области спектра.

Значения индекса получают в относительных единицах. Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше. Для зеленой растительности индекс обычно равен 0.5-0.8. Нулевые значения NDVI соответствуют зеркалу озер и открытой почве. В результате расчета NDVI было получено изображение, на котором дешифрируются участки эрозии в виде белых полос характерной формы (рис. 2).

Для автоматизации выделения и оценки линейной эрозии почв по космическим фотоизображениям применялось специализированное программное обеспечение по обработке аэрокосмической информации ENVI 5.0 [5, 6]. В процесс обработки одновременно включались исходные изображения и результаты расчета вегетационного индекса, поэтому все снимки предварительно

трансформировались в единую систему координат. Методика дешифрирования эрозионных процессов состоит из нескольких этапов:

**Рис. 2. Результат расчета индекса NDVI растительности на исследуемой территории**

- визуальный анализ изображения, при котором осуществляется выбор параметров обработки, так как некоторые объекты, например, лесополосы, имеют одинаковые признаки дешифрирования с линиями эрозии;

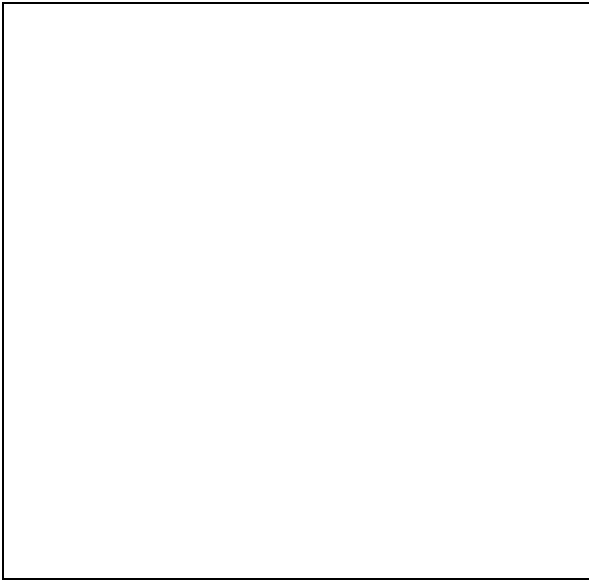
- подбор методов для максимального подчеркивания признаков дешифрирования и подавления ненужной информации. Для данного типа изображения применялась высокочастотная фильтрация.

- выделение эрозионных процессов по прямым признакам дешифрирования методами нелинейной фильтрации изображения. В качестве основного фильтра была выбрана свертка изображения с квадратной матрицей (рис. 3);

- пороговое ограничение и очистка отфильтрованного изображения, которая отсекает максимально возможное количество ненужной информации на снимке без заметного ущерба. Порог выбирался на основе визуальной оценки (рис. 4);

- трансформирование растрового изображения эрозионных процессов в векторный формат, который в дальнейшем позволяет обрабатывать полученную информацию в геонформационной системе (рис. 5).

Сравнительный анализ результатов автоматизированной обработки разновременных данных дистанционного зондирования в ГИС MapInfo позволил оценить увеличение длины эрозионной сети, которая составила в среднем 24,3 м за 20 лет (рис. 6, табл.).



*Рис. 3. Фильтрация изображения*

*Рис. 4. Пороговое ограничение*

*Рис. 5. Трансформирование растрового изображения эрозионных процессов в векторный формат*

Дальнейшее развитие эрозионных процессов на данной территории можно спрогнозировать на основании определения предельных длин эрозионных форм, которые рассчитываются по формуле:

$$l = \frac{H_0}{I_0 \ln D},$$

где  $H_0$  – глубина базиса эрозии;

$I_0$  – угол наклона местности;

$\ln D = 3,5 - 2,5$  – коэффициент, зависящий от типа грунта.  $\ln D = 3,5$  – соответствует условиям легких грунтов,  $\ln D = 2,5$  – трудноразмываемым, тяжелым грунтам [7].

*Рис. 6. Совмещение результатов автоматизированной обработки разновременных изображений*

Для определения значений углов наклона местности и глубины базиса эрозии в программе ENVI 5.0 была построена трехмерная модель местности по паре космических снимков, полученных в 2017 г. на соседних орбитах (рис. 7). Снимки имеют перекрытие, равное 80% от размера кадра, что обеспечивает возможность фотограмметрической обработки. Построение трехмерной модели рельефа проводилось методами аналитической фототриангуляции. Далее с помощью трехмерной модели была построена карта углов наклона местности (рис. 8).

**Рис. 7. Трехмерная модель рельефа исследуемой территории**

**Рис. 8. Карта углов наклона местности**

**Таблица**

**Значения увеличения длин эрозионных форм**

№ объекта (рис. 6)	Увеличение длины эрозионной формы по данным 2017 г., м	Предельное расчетное увеличение длины эрозионной формы относительно 2017 года, м
1	34,8	9,4
2	25,3	26,1
3	27,6	10,6
4	16,8	23,9
5	43,2	28,1
6	15,5	20,1
7	17,1	27,8
8	24,5	3,3
9	18,8	23,4
10	31,7	15,2
11	11,7	5,2

Совместный анализ модели рельефа и углов наклона местности позволил определить предельные расчетные значения увеличения длин эрозионных форм относительно 2017 г. (табл.).

Анализ полученных результатов показал, что в среднем на данной территории длина эрозионных форм увеличится на 17,5 м. Развитие эрозии будет происходить в основном в виде плоскостного смыва, который впоследствии может преобразоваться в линейную эрозию, если не будут приняты противоэрозионные мероприятия.

### **Заключение**

В процессе проведенных работ было установлено, что исследуемую территорию можно отнести к эрозионно-опасной, так как здесь активно продолжают развиваться деградационные процессы в виде плоскостного смыва, который может

полностью разрушить почвенный покров при неэффективном использовании эрозионно-опасных земель. Поэтому в отношении использования таких земель должны быть соблюдены основные принципы защиты почв от эрозии: взаимосвязанность, зональность, комплексность и экономичность противоэрозионных мероприятий [8].

Взаимосвязанность предусматривает разработку комплекса противоэрозионных мероприятий в пределах водосборного бассейна или административного района, в результате которых прекращается эрозия почв, восстанавливается плодородие, создаются условия для применения прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Зональность защитных мероприятий предлагает всесторонний учет природных и экономических условий сельскохозяйственных организаций. Комплексность противоэрози-

онных мероприятий включает организационно-хозяйственные, агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические мероприятия, в которых с учетом конкретных природных и экономических условий в территориальных образованиях могут преобладать те или иные защитные мероприятия. Экономичность – это получение наибольшей почвозащитной эффективности при минимальном отводе ценных земель и наименьших затратах труда и средств на их осуществление.

Для эффективности противозерозионных мероприятий и максимального повышения продуктивности сельскохозяйственных земель охрана почв должна проводиться систематически и охватывать все сельскохозяйственные угодья, а также технологию проведения полевых работ. Поэтому применение космических изображений и результатов их тематической обработки позволит оперативно осуществлять мониторинг и прогнозировать динамику развития эрозионных процессов для решения задач по улучшению экологической ситуации и совершенствованию системы землепользования. Также практическая реализация методики и результатов данного исследования при принятии управленческих решений создаст предпосылки для рационального перспективного использования земельного фонда на территории Алтайского края.

#### Библиографический список

1. Бурлакова Л.М., Морковкин Г.Г. Современное состояние плодородия черноземов Алтайского края и проблемы их рационального использования // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – № 5. – С. 49-50.
2. Морковкин Г.Г., Байкалова Т.В., Максимова Н.Б., Овцинов В.И., Литвиненко Е.А., Демина И.В., Демин В.А. Антропогенная трансформация пахотных почв степной зоны Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6. – С. 43-48.
3. Лисецкий Ф.Н., Марциневская Л.В. Оценка развития линейной эрозии и эродированности почв по результатам аэрофотосъемки // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2009. – № 10. – С. 39-43.
4. Байкалова Т.В. Картографирование процессов деградации почвенного покрова // География и природопользование Сибири: сб. ст. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2011. – Вып. 13. – С. 26-32.

5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

6. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.

7. География овражной сети / под ред. Е.Ф. Зориной. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 324 с.

8. Морковкин Г.Г., Байкалова Т.В., Максимова Н.Б., Овцинов В.И., Литвиненко Е.А., Демина И.В., Демин В.А. Динамика состояния почвенного покрова и показателей плодородия почв основных природно-почвенных зон Алтайского края // Вестник Алтайского науки. – 2015. – № 1(23). – С. 212-222.

#### References

1. Burlakova L.M., Morkovkin G.G. Sovremennoe sostoyanie plodorodiya chernozemov Altayskogo kraya i problemy ikh ratsionalnogo ispolzovaniya // Vestnik Rossiyskoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk. – 2003. – № 5. – S. 49-50.
2. Morkovkin G.G., Baykalova T.V., Maksimova N.B., Ovtsinov V.I., Litvinenko Ye.A., Demina I.V., Demin V.A. Antropogennaya transformatsiya pakhotnykh pochv stepnoy zony Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 6. – S. 43-48.
3. Lisetskiy F.N., Martsinevskaya L.V. Otsenka razvitiya lineynoy erozii i erodirovannosti pochv po rezultatam aerofotosemki // Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel. – 2009. – № 10. – S. 39-43.
4. Baykalova T.V. Kartografirovaniye protsessov degradatsii pochvennogo pokrova // Geografiya i prirodopolzovanie Sibiri: sbornik statey. – Barnaul: Izd-vo AltGU, 2011. – Vyp. 13. – S. 26-32.
5. Shovengerdt R.A. Distantsionnoe zondirovaniye. Modeli i metody obrabotki izobrazheniy. – M.: Tekhnosfera, 2010. – 560 s.
6. Lure I.K., Kosikov A.G. Teoriya i praktika tsifrovoy obrabotki izobrazheniy. Distantsionnoe zondirovaniye i geograficheskie informatsionnye sistemy. – M.: Nauchnyy mir, 2003. – 168 s.
7. Geografiya ovrazhnoy seti / pod. red. Ye.F. Zorinoy. – M.: Izd-vo MGU. – 2006. - 324 s.
8. Morkovkin G.G., Baykalova T.V., Maksimova N.B., Ovtsinov V.I., Litvinenko Ye.A., Demina I.V., Demin V.A. Dinamika sostoyaniya pochvennogo pokrova i pokazateley plodorodiya pochv osnovnykh prirodno-pochvennykh zon Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo nauki. – 2015. – № 1 (23). – S. 212-222.