



Разработка полиномиальной логистической регрессионной модели изменений видов землепользования с учетом природных факторов

Чинь Куок Хюи¹✉, В.А. Малинников¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
✉ quochuy9xnb@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ

Чинь Куок Хюи, Малинников В.А. Разработка полиномиальной логистической регрессионной модели изменений видов землепользования с учетом природных факторов // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15. № 1. С. 62–74. DOI:10.30533/scidata-2024-15-04.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

полиномиальная логистическая регрессия, изменение землепользования, природные факторы, MLR

АННОТАЦИЯ

Модель полиномиальной логистической регрессии (MLR) все чаще применяется для решения задач классификации, используется для описания данных и определения связи между зависимой двоичной переменной и одной или несколькими независимыми переменными. Эта модель позволяет легко анализировать связь между независимыми и зависимыми переменными. В рамках данной статьи изучается применимость MLR для определения связи между изменениями в землепользовании и природными факторами в районе Жьяо Тхуи (провинция Намдинь, Вьетнам) путем оценки моделирования процесса

изменения видов землепользования с учетом природных факторов. Построение модели имеет три входные переменные, включая тип геоморфологии, почву и расстояние до береговой линии. Выходные данные модели представляют собой двоичную зависимую переменную: отсутствие изменений (0) и изменение землепользования (1). В модели полиномиальной логистической регрессии связь между изменением землепользования и природными факторами выражается коэффициентом регрессии β . Результаты показывают, что они тесно связаны. Надежность модели проверяется с помощью коэффициента корреляции R^2 и ROC-кривой. Результаты исследования показывают, что модель MLR, имеющая как преимущества, так и недостатки, подходит для определения связи между изменением землепользования и природными факторами.

1 Введение

Изменение землепользования играет важную роль в преобразовании окружающей среды и вызывает колебания климата. Выявление причин изменения землепользования требует понимания и того, как люди принимают решения в этой области, и того, какое взаимодействие природных и социальных факторов влияет на такие решения.

Текущее состояние землепользования является результатом сочетания различных факторов, включая географические и социально-экономические, а также их взаимодействие [1]. В этом контексте модель полиномиальной логистической регрессии представляет собой мощный инструмент для анализа связей между динамикой землепользования и различными природными факторами. В экспериментальном исследовании, проведенном в регионе Моравия в Чешской Республике, авторы использовали статистический анализ, чтобы определить связь между этими факторами. Результат показал корреляцию между изменениями ландшафта и выбранными природными факторами, причем наиболее значимыми из последних являются уклон и высота над уровнем моря [2].

Полиномиальная логистическая регрессия позволяет не только оценить вероятность изменения землепользования в зависимости от природных переменных, но и учесть нелинейные взаимосвязи и взаимодействия различных факторов [3]. Это особенно важно при анализе комплексных экологических систем, где влияние различных факторов сильно дифференцировано. В данной статье приведена разработка полиномиальной логистической регрессионной модели, которая позволяет анализировать изменения видов землепользования с учетом влияния природных факторов.

Логистическая регрессия используется многими учеными при изучении изменений земного покрова и землепользования. Например, Сернилс и Ламбин (S. Serneels, E.F. Lambin) используют логистический регрессионный анализ

для описания связи между изменением землепользования и природными факторами, что позволяет оценить влияние движущих сил на изменение землепользования посредством пространственного статистического анализа [4].

2 Материалы и методы исследования

2.1 Модель полиномиальной логистической регрессии

Модель полиномиальной логистической регрессии является развитием модели биномиальной логистической регрессии, в ней зависимая переменная представляет собой качественную переменную, имеющую более двух значений (состояний).

Модель полиномиальной логистической регрессии необходима для рассмотрения связи между зависимой переменной, являющейся качественной переменной (дискретными данными), и независимой переменной, которая может быть количественной или качественной [5]. Основными параметрами модели логистической регрессии выступают индекс Odds и индекс Log. Индекс Odds указывает на вероятность того, что событие произойдет, по сравнению с вероятностью того, что событие не произойдет:

$$1 \quad \text{Odds} = \frac{p}{1-p} = e^{\alpha + \sum_{j=1}^n \beta_j x_j}.$$

Показатель $\text{Log}(p) = \log(\text{Odds})$ является характеристической величиной логистической модели. Уравнение модели имеет форму

$$2 \quad \text{Log}\left(\frac{p_i}{p_j}\right) = \alpha_{ij} + \beta_{ij} x_1 + \beta_{ij} x_2 + \dots + \varepsilon_{ij},$$

где α и β — параметры соответствующего уравнения;

$x_1, x_2, \dots$ — независимые переменные;

p_i — вероятность неизменения объекта;

p_j — вероятность преобразования типов землепользования.

Предположим, что p_0 — вероятность неизменения объекта;

$p_1, p_2, \dots, p_n$ — вероятности преобразования типов землепользования.

Тогда мы имеем следующие n уравнений:

$$3 \quad \text{Log}\left(\frac{p_1}{p_0}\right) = \alpha_{10} + \beta_{10} x_1 + \beta_{10} x_2 + \dots + \varepsilon_{10};$$

4

$$\text{Log}\left(\frac{\rho_2}{\rho_0}\right) = \alpha_{20} + \beta_{20}x_1 + \beta_{20}x_2 + \dots + \varepsilon_{20i};$$

5

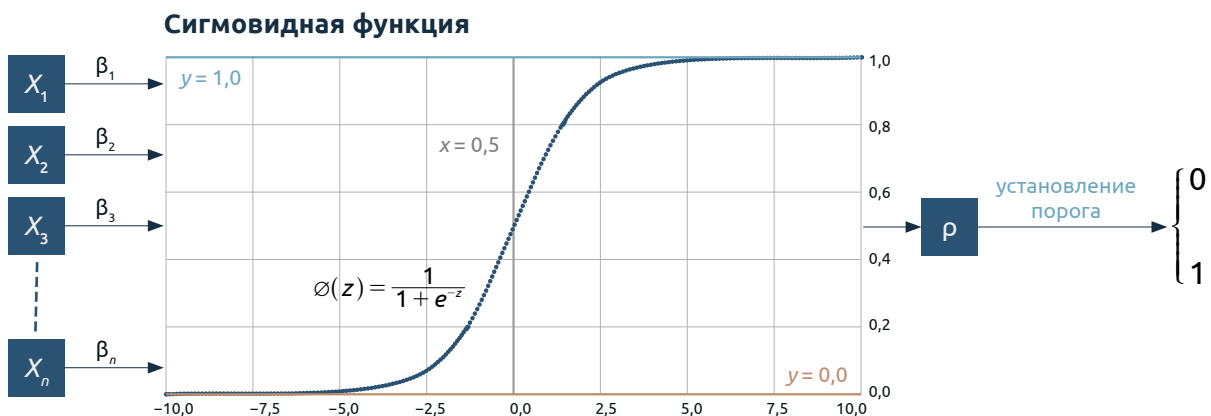
$$\text{Log}\left(\frac{\rho_n}{\rho_0}\right) = \alpha_{n0} + \beta_{n0}x_1 + \beta_{n0}x_2 + \dots + \varepsilon_{n0}.$$

Модели классификации стремятся определить границу, которая лучше всего разделяет группы данных. В логистической регрессии мы также ищем такую $\square\square$ разделительную границу для решения проблемы классификации между двумя группами 0 и 1. Это сигмовидная функция.

Модель логистической регрессии, примененную к задаче определения изменений в землепользовании, можно обобщить следующим образом (см. **рис. 1**).

Рис. 1 Общая схема метода логистической регрессии

Fig. 1 General scheme of the logistic regression method



Предположим, имеются входные характеристики от x_1 до x_n . Набор коэффициентов от β_1 до β_n оценивается с использованием метода максимального правдоподобия или методов оптимизации (**рис. 1**). Из вывода линейной функции мы вводим сигмовидную функцию, чтобы найти распределение вероятностей данных (p). Это значение на самом деле является числом вероятности от 0 до 1. Сигмоидальная функция имеет форму S-кривой, монотонно возрастает и подходит для применения к вероятностному прогнозированию в задачах классификации.

Чтобы иметь возможность сопоставить эту вероятность с дискретными категориями, нам нужно выбрать пороговое значение так, чтобы, если вероятность больше этого значения, мы отнесли ее к этой категории, а если она ниже, мы отнесли бы ее к остальным категориям:

$$\begin{aligned} p &\geq 0,5, \text{ класс } 1; \\ p &< 0,5, \text{ класс } 0. \end{aligned}$$

В данном исследовании модель полиномиальной логистической регрессии используется для изучения связи между зависимой переменной (изменение землепользования или отсутствие изменений) с независимыми переменными, включая геоморфологию, почву, расстояние до береговой линии. И эта связь выражается через коэффициенты β_n . В модели полиномиальной логистической регрессии коэффициенты β_n представляют собой параметры, отражающие влияние каждого природного фактора на изменение землепользования. Положительное значение коэффициента указывает на увеличение вероятности принадлежности к классу при увеличении значения соответствующего предиктора.

В этой модели мы определяем переменные модели следующим образом:

- зависимая переменная — это качественная переменная, представляющая формы изменения землепользования;
- значение 0 определяется как отсутствие изменений в землепользовании;
- значение 1 определяет типы изменений в землепользовании (например, рисовые земли превращаются в аквакультуру, пустующая земля — в мангровые леса).

2.2 Данные об изменении в землепользовании

Эти данные идентифицируются как зависимая переменная. В модели полиномиальной логистической регрессии зависимая переменная в нашем случае может иметь более 10 состояний. В данном исследовании, проведенном на примере района Жьяо Тхуи (провинция Намдинь, Вьетнам), зависимая переменная со статусами изменения землепользования будет иметь код 1, а субъекты землепользования без изменений будут кодироваться как 0. Количество зависимых переменных определяется в соответствии с основными колебаниями для каждого периода. В **табл. 1** перечислены зависимые переменные для каждого этапа исследования.

Таблица 1 Зависимые переменные на каждом этапе исследования (изменение землепользования в районе Жьяо Тхуи)

Table 1 Dependent variables at each stage of the study (land use change in Giao Thuy district)

Изменение землепользования	Период, годы		
	1989–2001	2001–2013	2013–2023
Без изменений	✓	✓	✓
Рисовая земля — земля под застройку	✓	✓	✓
Рисовая земля — аквакультура		✓	✓
Осоковая земля — аквакультура	✓	✓	
Соленая земля — аквакультура	✓	✓	✓

Изменение землепользования	Период, годы		
	1989–2001	2001–2013	2013–2023
Мангровые леса — аквакультура	✓	✓	✓
Поверхность воды — аквакультура	✓	✓	
Поверхность воды — мангровые леса	✓	✓	✓
Пустующая земля — мангровые леса			✓

2.3 Независимые переменные данные (природные факторы)

Независимыми переменными в данном исследовании являются природные факторы, в том числе геоморфология, почва, береговая линия и расстояние до береговой линии (рис. 2, табл. 2).

Рис. 2 Независимые переменные данные (природные факторы в районе Жьяо Тхуй)

Fig. 2 Independent variable data (natural factors in Giao Thuy district)

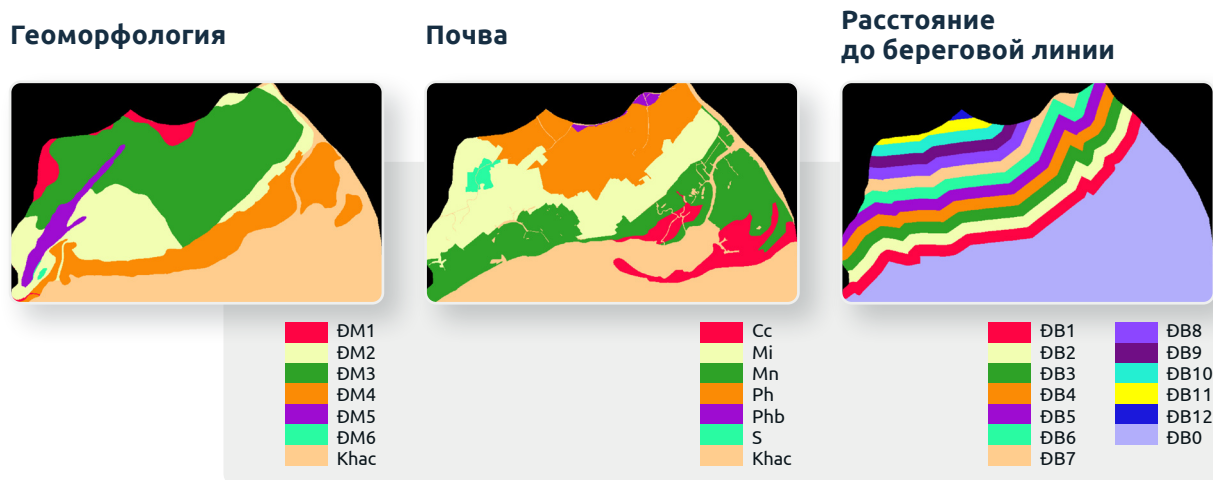


Таблица 2 Данные независимых переменных

Table 2 Independent Variable Data

Условные обозначения		Природные факторы
Геоморфология	DM1	Современные речные илистые отмели
	DM2	Накопление на поверхности современных отложений рек, морей и болот
	DM3	Поверхность современной речно-морской аккумуляции
	DM4	Поверхностное скопление приливных отмелей
	DM5	Аккумуляция морского песка
	DM6	Аккумуляция поверхности ветреным морем

Условные обозначения		Природные факторы
Почва	Cc	Песчаная почва, прибрежные песчаные дюны
	Mi	Засоленность почвы низкая, умеренная
	Mn	Почва очень соленая
	Ph	Аллювиальная почва не откладывается
	Phb	Аллювиальная почва откладывается
	S	Потенциальная щелочная почва
Расстояние до береговой линии	DB1	0 (море)
	DB2	0–800 м
	DB3	800–1600 м
	DB4	1600–2400 м
	DB5	2400–3200 м
	DB6	3200–4000 м

3 Результаты

3.1 Объяснение результатов модели MLR

Пусть p_0 — вероятность неизменения объекта (пустующая земля — пустующая земля); p_1 — вероятность превращения пустующей земли в мангровый лес. Учитывая корреляцию между изменениями в землепользовании и природными факторами, приведем результат применения модели многомерной логистической регрессии в **табл. 3**. Таблица результатов содержит 9 строк. Строка 1 включает независимые переменные (геоморфология и почва), строка 2 — коэффициент регрессии β ; строка 3 — стандартную ошибку, строка 4 — значение теста Вальда аналогично χ^2 (хи-квадрат), строка 5 — df (степени свободы), строка 6 — Sig. (статистическую значимость), строка 7 — показатель коэффициента регрессии β в строке 2 (e^β) представляет собой отношение шансов (odds ratio), строки 8–9 — 95-процентный доверительный интервал (OR).

Таблица 3 Результаты модели MLR

Table 3 MLR model results

Независимые переменные	Перехват	Cc	Mn	DB1	DB2	DB4
Коэффициент регрессии β	–3,550	3,637	4,364	–20,017	–1,795	2,278
Стандартная ошибка	1,427	1,457	0,679	4928,723	1,604	1,434
Хи-квадрат	6,191	6,232	41,316	0	1,253	2,523
Степени свободы	1	1	1	1	1	1

Независимые переменные		Перехват	Сс	Мп	ДМ1	ДМ2	ДМ4
Sig.		0,013	0,013	0	0,997	0,263	0,112
Показатель β			37,994	78,610	2,026E-9	0,166	9,757
95 %-ный доверительный интервал	нижняя граница		2,185	20,773		0,007	0,587
	верхняя граница		660,683	297,471		3,850	162,179

Пользуясь данными, приведенными в **табл. 3**, мы можем написать следующее уравнение полиномиальной логистической регрессии:

6
$$\text{Log}\left(\frac{\rho_1}{\rho_0}\right) = -3,550 + 3,637\text{Сс} + 4,364\text{Мп} - 20,017\text{ДМ1} - 1,795\text{ДМ2} + 2,278\text{ДМ4}.$$

Или:

7
$$\text{Odds} = e^{-3,550 + 3,637\text{Сс} + 4,364\text{Мп} - 20,017\text{ДМ1} - 1,795\text{ДМ2} + 2,278\text{ДМ4}}.$$

Линия Сс имеет Sig. = 0,013 < 5 %, поэтому переменная «Сс (песчаная почва, прибрежные песчаные дюны)» статистически значима, коэффициент $\beta = 3,637$, следовательно, происходит переход от пустующей земли к мангровым лесам на песчаных дюнах. В частности, $\beta = 3,637$ означает, что $\log(\text{odds})$ увеличивается в 3,637 раза. Коэффициент $\exp(\beta) = \exp(3,637) = 37,99$ свидетельствует о том, что вероятность превращения пустующей земли в мангровый лес в 37,99 раз выше, чем «пустующая земля — пустующая земля» на песчаных дюнах.

Линия Мп имеет Sig. = 0,000 < 5 %, поэтому переменная «Мп (почва очень соленая)» статистически значима, коэффициент $\beta = 4,364$, следовательно, происходит переход от пустующей земли к мангровым лесам на очень соленой почве. Это доказывает, что переход от пустующей земли к мангровым лесам имеет положительную связь с сильно засоленной почвой через положительный коэффициент регрессии. Другая линия имеет Sig. > 5 %, поэтому другая переменная статистически незначима. Таким образом, на сильно засоленных почвах и участках песчаных дюн увеличивается возможность превращения пустующей земли в мангровые леса.

3.2 Оценка целесообразности модели MLR

Регрессионные модели объясняют связь изменений земельного покрова и землепользования с природными, экономическими и социальными показателями. Данные об изменениях в землепользовании часто представляются в дискретном виде. Следовательно, логистическая регрессия (бинарная и полиномиальная) является подходящей статистической моделью для нашего исследования.

Пригодность модели также определяется по коэффициенту корреляции (R^2), в частности по следующей формуле:

8

$$R^2 = 1 - \frac{\text{Log}(L_M)}{\text{Log}(L_0)},$$

где L_0 — значение вероятности модели без независимых переменных;
 L_M — значение вероятности всей модели по каждой независимой переменной.

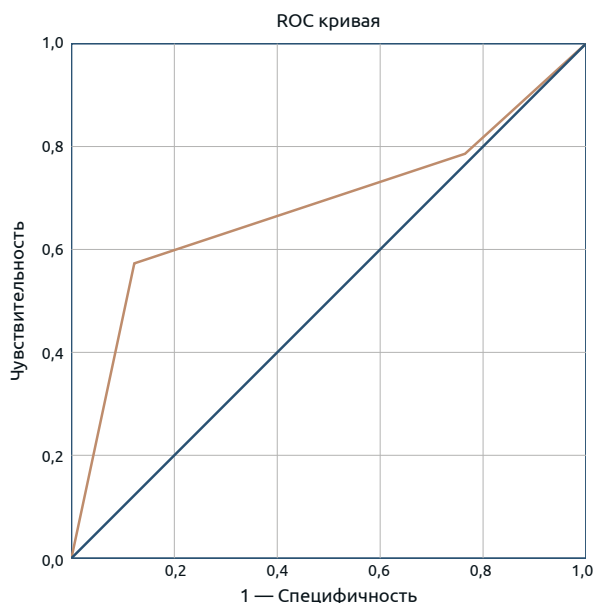
Если $R^2 = 1$, это означает, что модель идеальна, а $R^2 = 0$ указывает на то, что зависимая переменная и независимая переменная не имеют связи. Если $R^2 > 0,2$ считается подходящей моделью, зависимая переменная имеет связь с независимой переменной [6]. В этом исследовании $R^2 = 0,578$, что доказывает, что разработанная нами модель подходит.

Кроме того, надежность модели оценивается с помощью кривой ROC. Она представляет собой кривую, которая показывает восприимчивость (sensitivity) и специфичность (specificity) результата прогноза, что является лучшим прогнозом, когда площадь под кривой велика (AUC). Значение AUC рассчитывалось с использованием процента истинноположительных результатов и процентных значений ложноположительных результатов для каждого класса, составляющего кривую. Экер (R. Eker) отмечает, что значение AUC разделено на 5 уровней [7]: очень низкая восприимчивость (0–0,2), низкая восприимчивость (0,2–0,4), умеренная восприимчивость (0,4–0,6), высокая восприимчивость (0,6–0,8) и очень высокая восприимчивость (0,8–1). Площадь под кривой показана на **рис. 3**.

В этом исследовании значение AUC модели составило 0,675, что также находится в удовлетворительном диапазоне, поэтому говорит о надежности модели.

Рис. 3 Общая схема метода логистической регрессии

Fig. 3 General scheme of the logistic regression method



Площадь под кривой

Переменная (и) результата теста: почва

Площадь		0,675
Стандарт. ошибка ^a		0,040
Асимптотический сигнал ^b		0,000
95 %-ный доверительный интервал	нижняя граница	0,598
	верхняя граница	0,753

4 Обсуждение

Модель полиномиальной логистической регрессии показала связь между изменениями в землепользовании и природными условиями с применением пространственной статистики. Эта связь очень ясна с разными коэффициентами регрессии для каждой пары колебаний на каждой единице природных условий.

Изменения в землепользовании тесно связаны с природными условиями. В статье основное внимание уделяется только количественной оценке этой связи с геоморфологией, почвой и расстоянием до береговой линии. Необходимо добавлять некоторые другие природные элементы в зависимости от потребностей использования модели.

5 Выводы

В настоящей статье применение моделей полиномиальной логистической регрессии показало, что изменения в землепользовании тесно связаны с природными факторами, включая геоморфологию, почву, расстояние до береговой линии.

Использование модели MLR при изучении изменений в землепользовании позволило количественно оценить возможный уровень изменений для каждого типа землепользования и для каждого природного фактора с течением времени с помощью коэффициента регрессии. При положительном коэффициенте регрессии существует положительная связь, и наоборот. Разработанная модель показала свою эффективность и может быть использована в других областях и районах.

Данная модель имеет определенные преимущества и недостатки. Ее достоинства состоят в следующем. Модель может включать как непрерывные, так и дискретные независимые переменные, позволяя анализировать широкий спектр природных факторов. Как и в случае с бинарной логистической регрессией, коэффициенты в полиномиальной логистической регрессии легко интерпретируемы. Они показывают влияние каждого природного фактора на вероятность изменения в землепользовании. MLR позволяет моделировать зависимые переменные с различными типами землепользования.

Недостатки модели обусловлены тем, что с увеличением числа классов и предикторов она становится более сложной и труднее интерпретируется. При больших объемах данных запуск модели полиномиальной логистической регрессии требует много вычислительного времени и снижает ее точность.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Малинников В.А., Чинь К.Х. Методика прогноза изменения землепользования по материалам космической съемки // Мониторинг. Наука и технологии. 2021. Т. 2. № 48. С. 53–58. DOI:10.25714/MNT.2021.48.006.
2. Opršal Z., Šarapatka B., Kladivo P. Land-Use Changes and their Relationships to Selected Landscape Parameters in three Cadastral Areas in Moravia (Czech Republic) // Moravian Geographical Reports. 2013. Vol. 21. No. 1. P. 41–50. DOI:10.2478/mgr-2013-0004.
3. Nguyen H.C., Nguyen V.C. Study on Land Use Change Using Remote Sensing Images and Markov Models — Logistic Regression in Cat Tien, Lam Dong // Vietnam Journal of Agricultural Science and Technology. 2021. Vol. 11. No. 132. P. 107–113. DOI:10.34044/j.anres.2022.56.5.08.
4. Serneels S., Lambin E.F. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model // Agriculture Ecosystems & Environment. 2001. Vol. 85. No. 1–3. P. 65–81. DOI:10.1016/S0167-8809(01)00188-8.
5. Doan T.T., Le T.G. Assessing the ability to apply a multinomial logistic regression model to create a soil map of Bac Ninh Province // Vietnam Journal of Agricultural Sciences. 2016. Vol. 14. No. 4. P. 629–634.
6. Fagerland M.W., Hosmer D.W., Bonfi A.M. Multinomial goodness-of-fit tests for logistic regression models // Statistics in Medicine. 2008. Vol. 27. No. 21. P. 4238–53. DOI:10.1002/sim.3202.
7. Eker R., Aydın A. Assessment of forest road conditions in terms of landslide susceptibility: a case study in Yiğilca Forest Directorate // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2014. Vol. 38. No. 2. P. 281–290. DOI:10.3906/tar-1303-12.

АВТОРЫ

Чинь Куок Хюи

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет
аспирант

 0009-0002-6752-0388

Малинников Василий Александрович

 malinnikov@mail.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет
д-р техн. наук, профессор

 0000-0002-8663-755X

Поступила 20.01.2024. Принята к публикации 22.03.2024. Опубликовано 29.03.2024.

UDC 528.8

DOI:10.30533/scidata-2024-15-04



Development of a multinomial logistic regression model of land use changes taking into account natural factors

Trinh Quoc Huy¹✉, Vasiliy A. Malinnikov¹

AFFILIATIONS

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

✉ quochuy9xnb@gmail.com

CITATION

Trinh Quoc Huy, Malinnikov VA. Development of a multinomial logistic regression model of land use changes taking into account natural factors. *Spatial Data: science, research and technology*. 2024;15(1): 62–74. DOI:10.30533/scidata-2024-15-04.

KEYWORDS

multinomial logistic regression, land use change, natural factors, satellite images

ABSTRACT

The multinomial logistic regression (MLR) model is increasingly applied to solve classification problems, which is used to describe data and determine the relationship between a dependent binary variable and one or more independent variables. This model can easily analyze the relationship between independent variables and dependent variables. This paper examines the applicability of MLR to determine the relationship between land use change and natural factors in Giao Thuy District, Nam Dinh Province, Vietnam, by evaluating the simulation of land use change process with natural factors. The model construction has three input variables, including geomorphology type, soil, and distance to the coastline. The output of the model is a binary dependent variable: no change (0) and land use change (1). In the multinomial logistic regression model, the relationship between land use change and natural factors is expressed by the regression coefficient β . The results show that they are closely related. The reliability of the model is tested by the correlation coefficient

R^2 and the ROC curve. The results of the study show that the MLR model is suitable for determining the relationship between land use change and natural factors. However, the model also has advantages and disadvantages.

REFERENCES

1. Malinnikov VA, Trinh QH. Metodika prognoza izmeneniya zemlepol'zovaniya po materialam kosmicheskoy s"emki [Methodology for forecasting land use changes based on satellite imagery]. *Monitoring. Science and Technology*. 2021;2(48): 53–58. (In Russian). DOI: 10.25714/MNT.2021.48.006.
2. Opršal Z, Šarapatka B, Kladiivo P. Land-Use Changes and their Relationships to Selected Landscape Parameters in three Cadastral Areas in Moravia (Czech Republic). *Moravian Geographical Reports*. 2013;21(1): 41–50. DOI:10.2478/mgr-2013-0004.
3. Nguyen HC, Nguyen VC. Study on Land Use Change Using Remote Sensing Images and Markov Models – Logistic Regression in Cat Tien, Lam Dong. *Vietnam Journal of Agricultural Science and Technology*. 2021;11(132): 107–113. DOI:10.34044/j.anres.2022.56.5.08.
4. Serneels S, Lambin EF. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical mod. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2001;85(1–3): 65–81. DOI:10.1016/S0167-8809(01)00188-8.
5. Doan TT, Le TG. Assessing the ability to apply a multinomial logistic regression model to create a soil map of Bac Ninh Province. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*. 2016;14(4): 629–634.
6. Fagerland MW, Hosmer DW, Bonfi AM. Multinomial goodness-of-fit tests for logistic regression models. *Statistics in Medicine*. 2008;27(21): 4238–4253. DOI:10.1002/sim.3202.
7. Eker R, Aydın A. Assessment of forest road conditions in terms of landslide susceptibility: a case study in Yığılca Forest Directorate. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2014;38(2): 281–290. DOI:10.3906/tar-1303-12.

AUTHORS

Trinh Quoc Huy

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Space Monitoring and Ecology, Faculty of Cartography
 0009-0002-6752-0388

Vasiliy A. Malinnikov

 malinnikov@mail.ru
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Space Monitoring and Ecology, Faculty of Cartography
Dr. Sci. (Engineering), Professor
 0000-0002-8663-0000-0002-8663-755X

Submitted: January 20, 2024. Accepted: March 22, 2024. Published: March 29, 2024.