

Сети доверия Байеса при моделировании сложных природных процессов Южного берега Крыма

В. Н. Таран

Гуманитарно-педагогическая академия (филиал)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» в г. Ялте
victoriya_yalta@ukr.net

Аннотация. В статье рассмотрено построение сети доверия Байеса для моделирования сложных природных процессов, протекающих на Южном берегу Крыма, которые обладают эффектом непредсказуемости и большой степенью неопределенности. Приведена структура сети, ее обучение и результаты моделирования.

Ключевые слова: *сети доверия Байеса; сложные природные системы и процессы; моделирование; прогнозирование; обучение байесовской сети*

I. ВВЕДЕНИЕ

Различные природные процессы, протекающие на Южном берегу Крыма, имеют высокий уровень непредсказуемости и неопределенности, что затрудняет их исследование, моделирование и прогнозирование. Наличие стохастической составляющей при протекании сложных природных процессов, имеющих катастрофические последствия для экологии, окружающей среды и человека, не позволяют получить достоверные результаты с помощью традиционных методов и моделей.

Возможность предвидеть активизацию сложных природных процессов на Южном берегу Крыма, имеющих катастрофические последствия, позволяет свести эти последствия к минимуму, проведя специальные защитные мероприятия, тем самым обезопасить жизнедеятельность человека, что также позволит использовать уникальную территорию побережья для оздоровления и отдыха туристов. Землетрясения, оползни, сели, природные пожары, ураганы, переработка береговой зоны моря, снежные лавины, экстремальные температуры воздуха [1] приносят значительный урон хозяйственной деятельности человека, не позволяют в полной мере и качественно использовать рекреационные территории.

Южный берег Крыма имеет уникальное географическое расположение и особый лечебный климат, кроме того, на этой узкой полоске побережья лежит свыше 50% всех дорог полуострова, при этом плотность населения превосходит среднее значение по Крыму более, чем в 2 раза. Значит, сложные природные процессы, имеющие катастрофические последствия, представляют значительную угрозу, разрушая дороги, здания и сооружения, нанося большой вред их эксплуатации [2]. Постоянное изменение геологических, климатических, экологических и техногенных процессов негативно влияет на хозяйственные объекты и сложные инженерно-

строительные конструкции, от которых зависит жизнь и здоровье человека [3].

Задача исследования динамики и моделирование сложных природных процессов, оценка объема денежных средств, требующихся различным территориям полуострова для предотвращения или покрытия материального ущерба от разрушений хозяйственных объектов, обусловлена необходимостью разработки новых подходов, моделей, методов, алгоритмов, интеллектуальных систем, которые могли бы повысить эффективность процесса выработки и принятия управленческих решений в условиях риска и различных видов эколого-экономических неопределенностей [4].

Научные исследования, посвященные моделированию и прогнозированию сложных природных процессов Южного берега Крыма, часто имеют узкую направленность на картографические исследования и экспертную оценку специалиста-геолога, наблюдение, мониторинг, что показывает ограниченное использование современных информационных технологий, применяемых в интеллектуальных системах принятия решений, а также говорит об отсутствии системного подхода при решении поставленной задачи [5]. Применение сетей доверия Байеса позволит решить поставленную задачу за счет получения вероятностных оценок возможных вариантов протекания рассматриваемых событий и процессов.

Модель на основе байесовской сети доверия позволяет объединять как статистические данные, так и предположения экспертов о характере поведения и взаимосвязях между элементами [6, 7]. Байесовские сети являются одним из представлений баз знаний с неопределенностью [8].

Целью данного исследования является построение сети доверия Байеса на основе анализа факторов и показателей в качестве модели, характеризующей протекание сложных природных явлений и процессов на Южном берегу Крыма.

II. ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ ДОВЕРИЯ БАЙЕСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

A. Сеть доверия Байеса

Сеть доверия Байеса – ориентированный ациклический граф, вершинами которого являются дискретные случайные переменные X с конечным числом состояний, а

ребрами U – причинно-следственные связи между ними, характеризующиеся таблицей безусловных вероятностей переходов из одного состояния в другое под воздействием возмущений. Итак, сеть доверия Байеса представляет собой пару (G, P) , где $G = \langle X, U \rangle$ – направленный ациклический граф на конечном множестве X , элементы которого связаны между собой совокупностью ориентированных ребер U , а P – множество распределений условных вероятностей [13, 14].

В условиях неопределенности основой для принятия решений с помощью сети доверия Байеса является вычисление вероятностей стратегий перехода от одного к другому состоянию системы [9, 15]. Раскрытие неопределенности в осуществляется с помощью вычисления вероятностей состояний вершин на основе имеющейся информации о значении других вершин сети, благодаря этим сообщением система осуществляет переход к следующему состоянию [10].

В. Построение сети доверия Байеса

В качестве факторов, имеющих сильное влияние на протекание сложных природных процессов Южного берега Крыма, сопровождающихся катастрофическими последствиями, следует выделить следующие: осадки (имеет смысл рассматривать количество осадков за гидрогеологический год, т.е. с сентября предыдущего года по август текущего); солнечная активность (катастрофические природные явления напрямую зависят от солнечной активности и ее 11 летнего цикла [12]); сейсмическая активность; уровень оползневой активности в течение предыдущего периода; вложенные средства в укрепление склонов, сооружений и дорог [3, 9, 15].

Также имеет смысл рассмотреть промежуточные и результирующие показатели, которые будут расположены на следующих уровнях сети доверия Байеса: временные интервалы, в течение которых возможно катастрофическое событие; уровень природного риска в вероятностной интерпретации, т.е. насколько возможно наступление того или иного катастрофического явления; окончательный уровень денежных вложений для устранения катастрофических последствий уже произошедших событий и явлений [3, 9, 15].

Итак, по рассмотренным факторам построим сеть доверия Байеса для моделирования и составления прогноза, а также для предсказания уровня возможных последствий, что позволит сформировать рекомендации по вложению денежных средств на защитные и укрепительные мероприятия.

При построении сети доверия Байеса расположим первичные (исходные) факторы на верхнем (первом) уровне, т.е. разместим осадки, солнечную активность, сейсмическую активность и вложенные средства на верхнем уровне сети. Каждый из этих факторов характеризуется безусловной вероятностью, полученной по статистическим данным в результате многолетних наблюдений. Определим качественные значения факторов в виде: мало, среднее количество и много (катастрофически много) (Small, Average, Catastrophic).

Исключение составит вершина «Вложенные средства», для которой выберем значения: «В полном объеме», «Среднее», «Малое» (In Full, Average, Small)

На втором уровне расположим одну вершину: «Природные риски», которая будет принимать значения, аналогичные природным факторам.

На третьем уровне – «Временные сроки», которая будет принимать значения: два дня, неделя, месяц и не произойдет вообще.

В качестве результирующего показателя возьмем вершину «Денежные средства», т.е. общий объем затраченных средств на предупреждение и устранение катастрофических последствий.

Таким образом, байесовская сеть доверия для моделирования катастрофических природных процессов Южного берега Крыма представлена на рис. 1 (с использованием условно бесплатной программы Netica).

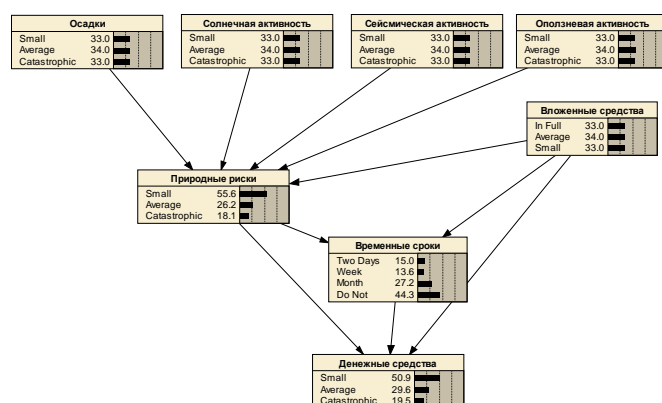


Рис. 1. Начальное состояние сети доверия Байеса для моделирования сложных природных процессов, имеющих катастрофические последствия на Южном берегу Крыма

Для обучения сети заполним таблицы условных вероятностей с помощью экспертов для каждой вершины, кроме вершин первого уровня. Например, вершина «Природные риски» имеет 3^5 строк (на каждый фактор верхнего уровня) условных вероятностей (рис. 2).

Node: Natural_Risks					Chance	Probability	Reset	Close
Precipitation	Solar_Activity	Seismic_Activity	Invested_Funds	LandSlade	Small	Average	Catastrophic	
Small	Small	Small	In Full	Small	.95	.04	.01	
Small	Small	Small	In Full	Average	.93	.05	.02	
Small	Small	Small	In Full	Catastrophic	.91	.06	.03	
Small	Small	Small	Average	Small	.9	.08	.02	
Small	Small	Small	Average	Average	.88	.09	.03	
Small	Small	Small	Average	Catastrophic	.86	.1	.04	
Small	Small	Small	Small	Small	.8	.18	.02	
Small	Small	Small	Small	Average	.78	.19	.03	
Small	Small	Small	Small	Catastrophic	.76	.2	.04	
Small	Small	Average	In Full	Small	.85	.12	.03	
Small	Small	Average	In Full	Average	.83	.13	.04	
Small	Small	Average	In Full	Catastrophic	.81	.14	.05	
Small	Small	Average	Average	Small	.75	.2	.05	
Small	Small	Average	Average	Average	.73	.21	.06	
Small	Small	Average	Average	Catastrophic	.71	.22	.07	
Small	Small	Average	Small	Small	.65	.28	.07	
Small	Small	Average	Small	Average	.63	.29	.08	
Small	Small	Average	Small	Catastrophic	.61	.3	.09	
Small	Small	Catastrophic	In Full	Small	.82	.16	.02	

Рис. 2. Обучение байесовской сети (условные вероятности для вершины «Природные риски»)

С. Моделирование сложных природных процессов с помощью построенной сети доверия Байеса

На основе разработанной сети доверия Байеса построим прогноз возможного протекания сложных природных процессов на Южном берегу Крыма. Будем рассматривать сначала катастрофические изменения только одного фактора. Определим, к каким последствиям приводят эти изменения. На следующем этапе рассмотрим, что произойдет со значениями вершин, которые находятся на нижних уровнях, если одновременно все факторы принимают катастрофические значения, а вершина «Вложенные средства» – «Малые» (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1 РЕЗУЛЬТАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СЕТИ ДОВЕРИЯ БАЙЕСА

Катастрофические значения фактора (Catastrophic=100%)	Природные риски (Natural_Risks)			
	Small	Average	Catastrophic	
Осадки	32.4%	29.7%	37.9%	
Солнечная активность	42.2%	25.6%	32.1%	
Сейсмическая активность	50.2%	27.8%	21.9%	
Оползневая активность	55.5%	26.3%	18.2%	
Все факторы	4.0%	6.0%	90.0%	
Катастрофические значения фактора (Catastrophic=100%)	Временные сроки (Time_terms)			
	2_Day	Week	Month	Do_Not
Осадки	25.1%	17.4%	23.8%	33.7%
Солнечная активность	26.1%	16.0%	24.8%	37.6%
Сейсмическая активность	17.0%	14.4%	26.6%	42.0%
Оползневая активность	15.0%	13.6%	27.1%	44.3%
Все факторы	64.6%	20.0%	9.4%	6.0%
Катастрофические значения фактора (Catastrophic=100%)	Денежные средства (Monetary_Funds)			
	Small	Average	Catastrophic	
Осадки	39.4%	31.3%	29.3%	
Солнечная активность	43.6%	30.4%	26.1%	
Сейсмическая активность	48.5%	30.1%	21.4%	
Оползневая активность	50.9%	29.6%	19.5%	
Все факторы	10.5%	19.5%	70.0%	

a. Sample of a Table footnote. (Table footnote)

Как видно из таблицы, катастрофические изменения только одного фактора не всегда приводят к катастрофическим разрушениям, требующим немедленного вложения денежных средств на их устранение. Но при этом существенно увеличивается вероятность активизации каких-либо сложных природных процессов и, как следствие, повышается уровень общих денежных средств.

Если предположить, что одновременно значительно превышены средние значения по всем факторам верхнего уровня, то результирующие показатели делают резкий скачок в направлении не только активизации процессов и вложения средств, но при этом времени на предупреждающие и укрепляющие мероприятия практически не остается. Результат моделирования показан на рис. 3.

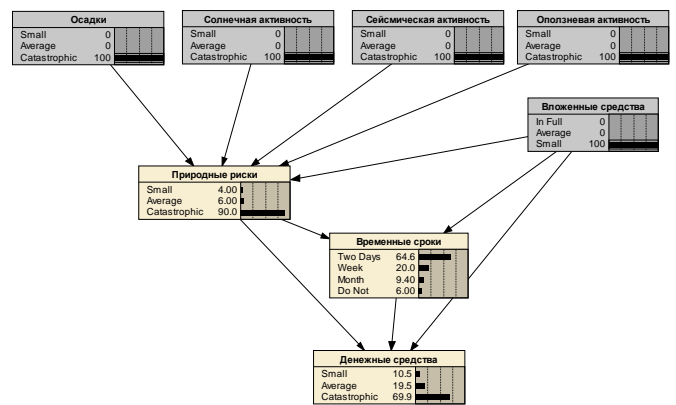


Рис. 3. Моделирование протекания сложных природных процессов

Исходя из рассмотренных вариантов изменения факторов, можно сделать выводы, что предупредительные меры относительно укрепительных мероприятий помогут сократить общие затраты за счет уменьшения катастрофических последствий разрушений, произошедших в результате активизации сложных природных процессов

D. Моделирование с помощью системы поддержки принятия решений FCLSSCC на основе сети доверия Байеса

Для моделирования катастрофических природных процессов, в том числе оползневых процессов, как приносящих наибольший ущерб, была разработана система поддержки принятия решений FCLSSCC (рис. 3), которая строит долгосрочный прогноз на основе классических статистических методов и краткосрочный прогноз, базирующийся на рассмотренной сети Байеса.

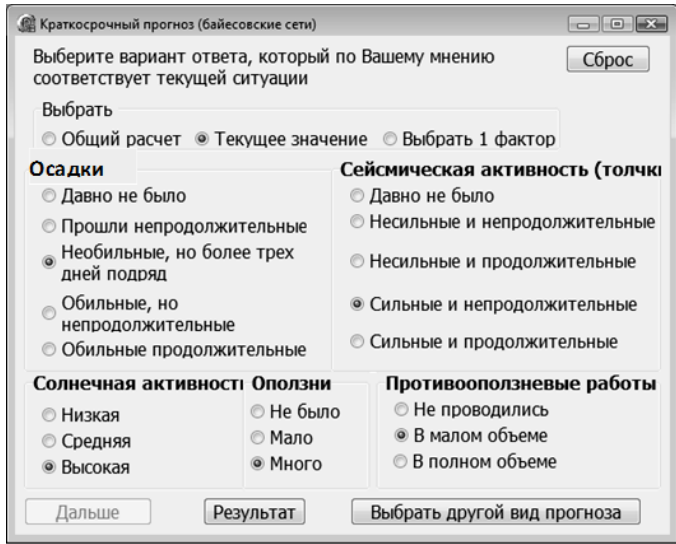


Рис. 4. Моделирование с помощью системы поддержки принятия решений FCLSSCC на основе сети доверия Байеса при введении значений факторов первого уровня

При этом система также позволяет сделать краткосрочный прогноз на основании только одного выбранного фактора из перечисленных, если, например, произошло резкое катастрофическое повышение этого фактора при остальных значениях, оставшихся без изменения.

Для моделирования в качестве начальных значений факторов выберем, например следующие: осадки – «необильные, но более трех дней подряд», сейсмическая активность (толчки) – «сильные и непродолжительные», солнечная активность – «высокая», оползни за предыдущий период – «много», а предыдущие вложения в укрепительные мероприятия производились в малом

Рассчитаем оценки трех критериев: вероятность проявления природных рисков (сложных природных процессов – оползней, имеющих катастрофические последствия), время, в течение которого возможны эти процессы и общий объем расходов. Полученные оценки приведены на рис. 5.

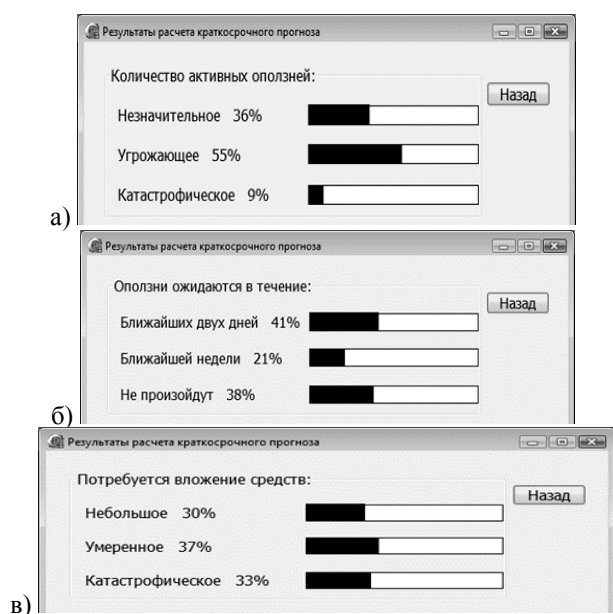


Рис. 5. Результаты моделирования с помощью сети доверия Байеса: а) расчет возможного уровня активных оползней; б) временной промежуток ожидающейся активизации оползней; в) вероятность вложения средств на устранение катастрофических последствий

Таким образом, имеем наиболее вероятный исход «Активизации природных явлений» *Угрожающие*=55%, а *Катастрофические*=9%; «Временные сроки» показывают *В течение двух дней*=41% произойдет активизация; «Объем вложенных средств» *Катастрофический*=33% или *Умеренный*=37%. Представленные расчеты показывают необходимость вкладывать заблаговременно денежные средства в укрепительные мероприятия.

III. Выводы

Итак, для учета неопределенности и случайно проявляющихся рисков активизации сложных природных процессов можно использовать сети доверия Байеса при

моделировании и прогнозировании катастрофических последствий природных процессов [ЛЭТИ 15].

Построенная сеть доверия Байеса и ее обучение путем заполнения экспертами таблиц условных вероятностей и введением числовых значений факторов для определения безусловных (априорных) вероятностей рассматриваемых факторов позволили получить прогноз относительно протекания катастрофических природных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пучков В.А., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофы и устойчивое развитие в условиях глобализации: монография. Научно-популярное издание / МЧС России. Москва. 2013. 328с.
- [2] Таран В.Н. Кластеризация данных для формирования вывода при прогнозировании оползневых процессов Южного берега Крыма // Системы обработки информации. 2010. Выпуск 6 (87). С. 276-280
- [3] Таран В.Н. Моделирование природных катастрофических процессов Южного берега Крыма с помощью сети Байеса // Auditorium. 2016. № 3 (11). С. 47-54.
- [4] Таран В.Н. Обучение сети Байеса при моделировании оползневых процессов Южного берега Крыма // Искусственный интеллект. 2008. № 3. С. 600-610.
- [5] Таран В.Н. Практическое внедрение разработанных методов прогнозирования оползневых процессов Южного берега Крыма / В.Н. Таран // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2010. № 21. С. 162-172.
- [6] Харитонов Н.А., Золотин А.А., Тулупьев А.Л. Программная реализация алгоритмов поддержания непротиворечивости в алгебраических байесовских сетях // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017), Saint-Petersburg, 24–26 мая 2017. С.19-22
- [7] Горяинов С. В., Кузнецов А. Ю., Тушканов Е. В., Кузнецова О. В., Романова Е. Б. Анализ байесовских математических систем распознавания образов для идентификации объектов на гиперспектральных снимках // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017). Saint-Petersburg, 24–26 мая 2017. С. 69-72.
- [8] Золотин А.А., Тулупьев А.Л. Матрично-векторные алгоритмы глобального апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017), Saint-Petersburg, 24–26 мая 2017. С.45-48
- [9] Таран В.Н. Анализ сети Байеса при моделировании сложных природных процессов // Дистанционные образовательные технологии: материалы I Всероссийской научно-практической интернет-конференции (г. Ялта, 19-23 сентября 2016 года) / отв. ред. В.Н. Таран. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2016. – С. 196-200.
- [10] Neapolitan R. E. Learning Bayesian Networks. Pearson Prentice Hall. 2003.
- [11] Селин Ю.Н. Системный анализ экологически небезопасных процессов разной природы // Системные исследования и информационные технологии. 2007. №2. С. 22-32.
- [12] Круцик М.Д. Защита горных автомобильных дорог от оползней. Коломия, 2003. 425 с.
- [13] Терентьев А.Н., Бидюк П.И. Метод вероятностного вывода в байесовских сетях по обучающим данным // Кибернетика и системный анализ, 2007. № 3. С. 93-99.
- [14] Бидюк П.И., Клименко О.М., Шехтер Д.В. Принципы построения и применения сети Байеса // Информационные технологии, системный анализ и управление. 2005. №5. С.14-25.
- [15] Таран В.Н. Байесовские сети при моделировании сложных // II Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (CTS'2017). Материалы конференции. Санкт-Петербург. 25–27 октября 2017. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. С. 248-251.