

УДК 910.1:519.21

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ОЦЕНКИ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПРОГНОЗАХ

© 2012 г. Г.П. Дохнадзе, Н.К. Элизбарашили, И.В. Хубулава

Институт водного хозяйства, Тбилиси

Поступила в редакцию 08.10.2009 г.

После доработки 10.11.2010 г.

Рассматривается актуальность географического прогнозирования как формирующейся науки, его значение в целях освоения новых территорий. Представлены возможности использования теорий полезности, выбросов, надежности и рисков в решении проблем географического прогнозирования. Приведены простейшие примеры и сформулированы соответствующие выводы в отношении применения моделей количественной оценки для прогнозирования состояния окружающей среды.

Введение. Значение географического прогнозирования постоянно растет на фоне обострения глобальных экологических, демографических и социальных проблем. Особенно актуально прогнозирование состояния окружающей среды для горных территорий.

Актуальность определения будущего состояния среды обусловлена как увеличением числа опасных природных явлений, так и хозяйственной деятельностью человека и связанными с ней техногенными процессами. Для горных территорий важно обращать внимание на интенсивное использование лесных ресурсов, субальпийских и альпийских лугов. Так, по последним данным, удвоились площади, охваченные геодинамическими процессами в субальпийских и альпийских зонах, отмечается активизация миграции населения, тенденции уменьшения водных ресурсов и др. Все это требует прогнозирования развития выявленных процессов.

На основе географического прогнозирования возможна разработка различных стратегических направлений, которые будут ориентированы на рациональное природопользование и устойчивое развитие.

Тенденции развития современной географии показывают, что ее перспективы во многом связаны с прогнозированием пространственно-временной изменчивости природных явлений. Необходимость подобного прогнозирования еще более возрастает на фоне глобального изменения климата [19], ограничения жизненного простран-

ства, условий природопользования, обострения экологических и демографических проблем. Прогнозирование становится особенно актуальным при оценке состояния сенситивных или уязвимых систем и объектов. Оно обусловлено не только глобальными, но и региональными и локальными природно-экономическими процессами.

В большинстве случаев прогнозирование изменений в природной среде связано с многофакторными, часто вероятными природными и социально-экономическими явлениями, что в значительной степени снижает надежность выводов.

Теория и методика географического прогнозирования разработана еще недостаточно. Часто достоверность прогнозов оказывается ниже требований практики, поэтому в представлении учебных доминирует мнение, что незначительный шаг вперед в географическом прогнозировании даже при неполной определенности предпочтительнее, чем любая условная стагнация научных исследований в данной сфере.

Процесс прогнозирования начинается с формирования цели и выбора объекта. Большое значение придается свойствам объекта: детерминирован он или стохастичен. В случае стохастического характера необходимо учитывать случайную составляющую. Используемый конкретный метод выбирается с учётом тех свойств существующих данных характеристик геообъекта, которые определяют изменение прогнозируемых параметров в пространстве и времени.

В географическом прогнозировании в основном используются интуитивные (морфологический анализ, пространственно-временная аналогия, оценка экспертов) и количественные (статистический и аналитический) методы [4].

Вероятностное моделирование. Для создания полной модели прогнозирования необходимо зафиксировать и проанализировать тенденции ретроспективного развития конкретных географических факторов и современное положение диагностических признаков детерминированных и случайных (стохастических) моментов. Для этого вместе с апробированными методами [4, 11] считаем перспективным использование теории полезности, выбросов, надежности и риска. Постараемся раскрыть их сущность на простых виртуальных примерах.

Сильно расчлененный рельеф, климатические условия и хозяйственная деятельность человека (рубка леса, прокладка дорог, эксплуатация пастбищ, нарушения целостности почв на склонах и др.) на любой территории очень часто обуславливают зарождение и активизацию различных геодинамических процессов. Для предотвращения ожидаемых негативных результатов развития этих процессов и для осуществления рационального природопользования необходимо планирование и проведение соответствующих превентивных мероприятий.

Для географических систем из-за недостатка информации часто бывает затруднительно реализовать рекомендации, связанные с отдельными природными компонентами и элементами. Исходя из этого, исследователь бывает вынужден для определения их чувствительности и значимости обратиться к использованию интуитивных методов. В этом случае для описания изменений качественных характеристик объекта часто используются лингвистические оценки: годный, хороший, плохой, худший, увеличение, уменьшение, норма и т.д.

В подобных ситуациях для получения приблизительных численных характеристик на основе существующей скудной информации качественного характера о природном компоненте или его элементах считаем целесообразным использовать теорию полезности [17], что в первом приближении может дать возможность выбора путей освоения конкретных территорий.

Полезность есть мера, которой измеряется значение объекта или его частей для той или иной надобности.

Если отдельные объекты исследуемой системы, с точки зрения использования, расположим в таксономической последовательности

$$G_1 \geq G_2 \geq \dots \geq G_n, \quad (1)$$

где G – показатель полезности; n – количество географических объектов, то для установления вероятностного численного значения функции полезности используется следующее равенство:

$$U(G_i) = \frac{2(n-i+1)}{n(n+1)}, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

Например, если $n = 3$, тогда

$$U(G_1) = \frac{6}{12} = 0.50;$$

$$U(G_2) = \frac{4}{12} = 0.34;$$

$$U(G_3) = \frac{2}{12} = 0.17.$$

Согласно численному значению уровня полезности при отсутствии другой информации сравнительно просто может быть выбран оптимальный вариант природопользования. Выбор стратегии перераспределения выделенных средств для обеспечения надежности отдельных элементов экологической системы с использованием данного подхода рассмотрен в [8].

В последнее время в географических исследованиях, в частности при изучении стохастических явлений, отмечаются прецеденты использования современного аппарата теории случайных процессов, что само собой охватывает моменты детерминированного характера как частный случай [4, 8, 11, 12]. Такой подход к явлениям полностью отражает изменения во времени и случайный характер определяющих факторов. Учет случайности реализован в ряде инженерно-технических задач.

Особенностью географических (геоэкологических) систем является то, что они не статичны и находятся в непрерывном сложном изменении. Для объективного определения картины устойчивости необходимы критерии и индикаторы, позволяющие адекватно описывать и оценивать географическую систему. Изменение во времени и пространстве индикаторов наиболее полно определяет состояние системы и ожидаемых опасностей и последствий.

Учитывать все факторы, влияющие на процессы, протекающие в географической среде, хотя и

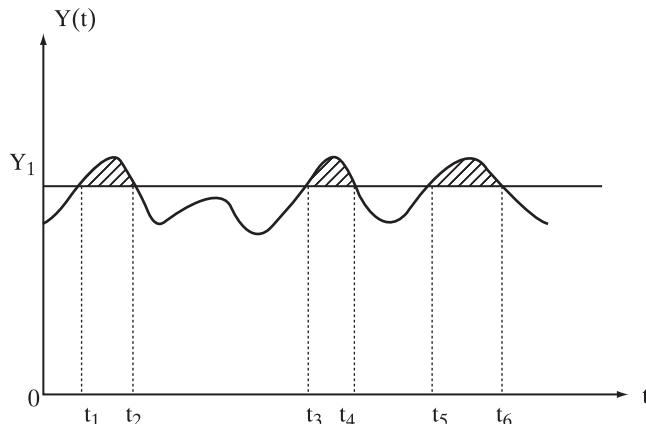


Рисунок. График случайной функции.

желательно, но практически невозможно. Вследствие этого на основе анализа ретроспективной информации и современной диагностики первым этапом будет установление определяющего (выбор) параметра. При необходимости можно будет ранжировать и другие (не главные) действующие факторы или параметры с последующей их оценкой.

Следующий этап – статистическая обработка имеющихся материалов наблюдений. В случае недостаточного количества данных можно использовать широко апробированный метод Монте-Карло, позволяющий извлечь максимальную информацию из существующих данных путем удлинения рядов [13].

Далее для определяющего параметра устанавливается его предельное значение, толерантное для нормального функционирования рассматриваемой системы. Это значение параметра является тем уровнем, превышение которого в той или иной мере (вплоть до отказа) нарушает стабильность объекта.

При решении многих практических задач применяется теория выбросов, также известная как теория превышения и используемая для оценки случайных величин, во множестве встречающихся в окружающей среде. Типичный случай ее применения представлен на рисунке.

Под выбросом случайной функции подразумевается превышение ее значения какой-либо постоянной величины (рисунок). Для расчетов используются значения выбросов, количество, продолжительность и отрезок времени между ними. В соответствии с рисунком имеется три выброса, средняя продолжительность $t_c = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3) + (t_6 - t_5)}{3}$, отрезок времени

же между выбросами – $(t_3 - t_2)$ и $(t_5 - t_4)$. Статистической обработкой множества таких данных и нестандартными теоретическими манипуляциями возможно суждение об ожидаемом максимальном значении случайной функции и о времени ее установления. Это особенно важно при прогнозировании природных катастроф [7, 9].

Для использования приемов теории выбросов первые фундаментальные формулы получены С. Райсом [15], которые с целью решения различных практических задач модифицированы другими авторами [5, 14].

Накопленный опыт в этом направлении подтверждает целесообразность применения полученных результатов в географическом прогнозировании.

Возможности достижения весомых результатов следует ожидать в прогнозировании катастрофических процессов, таковы деградация склоновых почв; паводки и наводнения; опустынивание; сели; оползни и снежные лавины; загрязнение водных объектов и воздушных масс, и др.

Необходимость решения перечисленных проблем с учетом оценки надежности, риска и уязвимости достаточно освещена в материалах Всемирной конференции (Кобе, Хиого, Япония, 2005) по уменьшению опасности бедствий [18].

Для примера рассмотрим возможности прогнозирования процесса водной эрозии почв. Все факторы, действующие на смыв почвы, можно разделить на две основные группы:

I – физико-механические характеристики почвы, которые обуславливают устойчивость почвы по отношению к действующему на нее водному стоку (гранулометрический состав, глинистость, сцепление, фильтрационная способность и т.д.);

II – факторы, определяющие сток, формирующие способность водного потока преодолеть сопротивление почвы и оторвать и сдвинуть ее частицы (интенсивность и продолжительность дождя, растительный покров, длина и крутизна склона и т.д.).

Любой фактор, определяющий эрозию почвы (из обеих групп), имеет диапазон колебания своей численной величины с соответствующим максимальным и минимальным значением. Наряду с этим для прогнозирования эрозионных процессов желательно знать допустимую величину действия каждого фактора, которая не приводит к развитию негативных явлений. Именно такая величина есть граничное (критическое) значение, в условиях которого почва не смывается. Об отри-

цательном влиянии конкретного фактора можно говорить только тогда, когда его численное значение превысит критическую (допускаемую) величину (при выбросе).

В нашем случае обе группы факторов, определяющих эрозионные процессы, могут быть представлены интегральным фактором. Первая группа – допускаемой (неразмывающей) скоростью почвы; вторая – скоростью склонового стока. В том случае, если скорость слоя стока воды превысит допускаемую (толерантную) для почвы скорость, будет иметь место отказ, то есть смыв почвы. В зависимости от того, каково значение и продолжительность превышения (выброса), можно установить величину ожидаемого смыва с использованием соответствующих нормативов [16] и расчетных формул [6].

Подобным подходом можно сформулировать методологические вопросы прогнозирования других упомянутых выше катастрофических явлений. Так, например, для прогнозирования паводков в русле реки должны быть выбраны сенситивные сечения с точки зрения перелива воды из русла и установлена величина расхода, соответствующая (толерантная) их пропускной способности, который может пройти в сечении без инцидента. На основании данных наблюдений устанавливаются вероятности превышения толерантных значений расходов реки [10] и соответственно рассчитываются как зоны затопления, так и другие ожидаемые негативные последствия.

При наличии в достаточном количестве соответствующей информации об исследуемых объектах и их элементах, мощным орудием географического прогнозирования могут стать сравнительно новые направления прикладной математики: теории надежности и риска. Применение этих теорий исходит из вероятностных построений, конечная цель которых в нашем случае – выбор оптимального варианта использования природной среды.

Надежность системы и ее элементов будет заключаться в способности выполнить заданную функцию в течение определенного времени. С увеличением надежности отдельных узловых элементов повышается надежность всей системы. Числовое значение надежности функционирования геообъекта во времени и пространстве при внутренних и внешних нагрузках определяется соответствующей вероятностью в данных условиях. Согласно терминологии теории вероятности, отказ – это моментальный или постепенный выход системы из строя. Вероятность безотказной работы системы – убывающая во времени

функция, то есть чем более продолжительное время работает система, тем меньше становится численное значение ее надежности.

Под понятием риска подразумевается вероятность отказов, то есть разница между единицей и надежностью:

$$r(t) = 1 - P(t), \quad (3)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказного функционирования.

Предположим, при реализации какого-либо проекта в природе предварительным условием является то, что в тёплый период температура воздуха не должна превышать 32° . Для установления того, насколько благоприятно в этом смысле данное место, должна быть проведена статистическая обработка данных наблюдений. При анализе полученных результатов могут иметь место три случая [2, 3].

1. Температура воздуха всё время меньше 32° . Соответственно надежность этого места для наших целей равна единице. Следовательно, в этом случае риск будет равен нулю. Это значит, что задуманный проект можно осуществлять.
2. Температура воздуха все время больше ее предельного значения. В этом случае риск очень высокий и осуществлять проект не имеет смысла.
3. Температура воздуха то выше, то ниже допускаемой величины. В этом случае имеет место сомнительная ситуация, и вопрос можно сформулировать следующим образом: или запланировать мероприятия, которые не допустят отрицательного влияния температуры выше 32° (если это возможно) или осуществить проект в другом месте. Оба эти варианта связаны с затратами, которые необходимы в первом и втором случаях.

Если на основе экономических расчетов принимается решение осуществить проект на уже выбранной территории, то в этом случае ставится вопрос оценки надежности этого места в соответствии с существующими условиями.

Температура воздуха в каждом конкретном месте изменчива и представляет собой случайную величину, численное значение которой зависит от многих также случайных независимых факторов. На основании этого имеет смысл считать, что ее изменение подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса). В этом случае плот-

нность нормального распределения выражается следующей зависимостью [1]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t - m_t)^2}{2\sigma_t^2}\right], \quad (4)$$

отсюда определяется функция распределения

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t - m_t)^2}{2\sigma_t^2}\right] dt, \quad (5)$$

которая выражается нормальной функцией распределения $\Phi^*(t)$ [1]:

$$F(t) = \Phi^*\left(\frac{t - m_t}{\sigma_t}\right), \quad (6)$$

где m_t – математическое ожидание случайной величины (в нашем случае температуры), σ_t – среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_t = \sqrt{D_t}, \quad (7)$$

D_t – дисперсия данных наблюдений.

Предположим в выбранном нами месте мы имеем следующий ряд наблюдений максимальной температуры воздуха по годам: 26°, 28°, 30°, 25°, 27°, 30°, 33°, 30°, 32°, 28°, 27°, 25°, 33°, 34°, 32°, 31°, 28°, 29°, 29°, 30°, 30°, 34°, 35°, 28°, 29°, 31°, 32°, 29°, 31°, 26°, 35°, 26°, 31°, 33°, 28°, 30°, 32°, 29°, 30°, 26°, 31°, 29°, 30°, 32°, 31°, 35°, 30°, 32°, 31°, 27°.

В соответствии с этими данными вычислим параметры нормального распределения.

$$\begin{aligned} 1. \text{ Математическое ожидание} & - m_t = \frac{1}{50} \\ & (25 \cdot 2 + 26 \cdot 4 + 27 \cdot 3 + 28 \cdot 5 + 29 \cdot 6 + 30 \cdot 9 + \\ & + 31 \cdot 7 + 32 \cdot 6 + 33 \cdot 3 + 34 \cdot 2 + 35 \cdot 3) = \\ & = \frac{1500}{50} = 30^{\circ}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Дисперсия} D_t &= \frac{1}{50} [(-5)^2 \cdot 2 + (-4)^2 \cdot 4 + (-3)^2 \cdot 3 + \\ & + (-2)^2 \cdot 5 + (-1)^2 \cdot 6 + (0)^2 \cdot 9 + (1)^2 \cdot 7 + (2)^2 \cdot 6 + \\ & + (3)^2 \cdot 3 + (4)^2 \cdot 2 + (5)^2 \cdot 3] = \frac{332}{50} = 6.64. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Среднеквадратическое отклонение} & \sigma_t = \\ & = \sigma_t = \sqrt{6.64} \approx 2.58. \end{aligned}$$

Плотность нормального распределения для температуры воздуха с учетом полученных значений параметров будет равна

$$f(t) = \frac{1}{2.58 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t - 30^{\circ})^2}{13.28}\right). \quad (8)$$

В соответствии с формулой (6) вероятность того, что температура воздуха будет меньше 32°, равна

$$\begin{aligned} P(T^0 < 32^{\circ}) &= \Phi^*\left(\frac{32^{\circ} - 30^{\circ}}{2.58}\right) = \Phi^*(0.7364) = \\ & = \Phi^*(0.74) = 0.7703. \end{aligned}$$

Соответственно, риск в данном случае будет равен:

$$r(t) = 1 - 0.7703 = 0.2297.$$

Вопрос может быть решен и в обратном порядке: на основании существующих данных устанавливается значение температуры, соответствующее требуемой надежности. С этой целью формула (6) может быть записана следующим образом:

$$t = P(T) \cdot \sigma_t + m_t. \quad (9)$$

Подобными расчетами можно решить ряд прикладных задач географического прогнозирования.

Итак, для прогнозирования состояния горных регионов необходимо не только учитывать десятки параметров и географических характеристик, но и применять различные подходы и методы. Среди них на переднем плане оказываются теории выбросов и рисков, которым в географическом прогнозировании до недавнего времени уделялось мало внимания.

Выводы

1. Для оптимального планирования и определения стратегии природопользования считаем целесообразным дальнейшее развитие географического прогнозирования, как самостоятельного научного направления.
2. Для прогнозирования негативных последствий хозяйственной деятельности в природной среде перспективно использование теорий полезности, выбросов, надежности и рисков, что дает возможность от интуитивных, качественных описаний перейти к количественным оценкам.
3. Использование моделей количественной оценки изменений природных компонентов, процессов и их элементов не означает отказ от использования качественных характеристик. Наоборот, только совместное применение базы данных позволяет установить как тенденции ретроспективных изменений, так и изменения современных диагностических признаков.
4. Дальнейшая реализация рекомендуемых методов географического прогнозирования может быть ориентирована на составление региональных прогнозных карт.

5. Рассмотренные подходы важны при прогнозировании катастрофических природных и антропогенных процессов, что дает возможность своевременно наметить пути выхода из возникающих кризисных ситуаций и привести необходимые превентивные мероприятия по минимизации ожидаемых негативных последствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вентцель Е.М.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1964. 572 с.
2. *Дохнадзе Г.П.* Вероятностная модель преодоления реки транспортными средствами // Тр. Института водного хозяйства и инженерной экологии. 2003. С. 28–32.
3. *Дохнадзе Г.П.* Методы исследований в военной географии. Тбилиси: Лега, 2007. 76 с.
4. *Звонкова Т.В.* Географическое прогнозирование. Учебное пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1987. 87 с.
5. *Мирцхулава Ц.Е.* Надежность гидромелиоративных сооружений. М.: Колос, 1974. 275 с.
6. *Мирцхулава Ц.Е.* Методические рекомендации по прогнозу водной (дождевой) эрозии почв. М.: ВАСХНИЛ, 1978. 61 с.
7. *Мирцхулава Ц.Е.* О предельно допустимых потерях почв при эрозии // Почвоведение. 2001. № 3. С. 358–362.
8. *Мирцхулава Ц.Е.* Опасности и риски на некоторых водных и других системах. В двух книгах. Тбилиси: Мецниереба, 2003. С. 159–165.
9. *Мирцхулава Ц.Е.* Об одном подходе прогнозирования крупных лесных пожарных опасностей, уязвимости и их повторяемости // Экологические системы и приборы. 2006. № 5. С. 39–50.
10. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83, ГК СССР по делам строительства. М., 1983. 93 с.
11. Проблемы регионального географического прогноза. АН СССР, Дальневосточный научный центр, Тихоокеанский институт географии. М.: Наука, 1982. 262 с.
12. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 424 с.
13. *Сванидзе Г.Г.* Основы расчета регулирования речного стока методом Монте-Карло. Тбилиси: Мецниереба, 1964. 271 с.
14. *Свешников А.А.* Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука, 1968. 512 с.
15. *Тихонов В.И.* Вопросы случайных процессов. М.: Наука, 1970. 468 с.
16. Указания по определению допускаемых (неразмывающих) скоростей водного потока для различных грунтов и облицовок. ВСН 2-65, Госземводхоз СССР. М., 1965. 35 с.
17. *Фишборн П.В.* Теория полезности для принятия решения. М.: Наука, 1978. 352 с.
18. Хиогская рамочная программа действий 2005–2015. Создание потенциала противодействий на уровне государств и общин. Кобе, Хиого, Япония. 22 с.

Probability Estimates in the geographical forecast

G.P. Dokhnadze, N.K. Elizbarashvili, I.V. Khubulava

Institute for Water Management, Tbilisi

The relevance of geographic forecast as an emerging science, its importance to the development of new territories, and methods of further research are considered. Possibilities of using utility theory, reliability theory and risk theory in geographic forecast are shown. The simplest examples regarding the use of quantitative models to predict the environment are presented, and appropriate conclusions are formulated.