

О применении технологии риск-анализа для оценки экологической опасности опустынивания (на примере Республики Бурятия)

Л. Л. УБУГУНОВ¹, А. И. КУЛИКОВ^{1, 2}, М. А. КУЛИКОВ²

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
E-mail: l-ulze@mail.ru

²Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В. Р. Филиппова
670037, Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8
E-mail: kul-an52@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Показана возможность применения технологии риск-анализа для экологической оценки опустынивания. Количественно оценены такие риски в расчете за год: удельный физический (год^{-1}), полный физический (га/год), экономический (руб./год), социальный (чел./год), а также определена функция устойчивости (надежности) земель при опустынивании.

Ключевые слова: опустынивание, экологические риски и опасности, технология риск-анализа.

Усиливающиеся противоречия в системе общество – природа привели к нарушению экологического равновесия, деградации окружающей среды и возрастанию числа природных, техногенных и природно-антропогенных катастроф. По сравнению с 1960-ми гг. в начале XXI в. число бедствий только природного происхождения увеличилось более чем в 3 раза. При этом за последние 20 лет количество гибнущих ежегодно людей составляет 75–86 тыс., пострадавших – 147–211 млн, а материальные потери за последние 40 лет возросли в 9 раз и равняются примерно 150 млрд долл. в год [1]. При этом темп роста количества пострадавших от природных катастроф составляет 8,6, а экономических потерь – 10,4 %/год [2].

На Всемирной конференции ООН по природным опасностям (1994 г., Йогоама, Япония) принята стратегия борьбы за уменьшение последствий природных бедствий [3], которая основывается на широком использовании методологии оценки и управления рисками.

ПОНЯТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И РИСКА. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА РИСКОВ

Систематические работы по анализу, оценке и управлению риском начались в конце 60-х – начале 70-х гг. XX в. и касались в основном оценки риска промышленных технологий, анализ и итоги которых показаны В. А. Владимировым и В. И. Измалковым [4]. В настоящее время наряду с природным, техногенным и другими видами рисков [2, 5, 6] сформулировано понятие экологического риска [7, 8].

Убугунов Леонид Лазаревич
Куликов Анатолий Иннокентьевич
Куликов Матвей Анатольевич

В отношении определения понятий опасности и риска еще не сложилось единого мнения. На основе обобщения существующих дефиниций непротиворечивыми, по нашему мнению, будут следующие:

- *Опасность экологическая* – процесс, свойство, состояние компонентов окружающей среды актуального или потенциального характера, представляющие угрозу для природы и человека.

- *Риск экологический* – вероятностная мера экологической опасности, установленная для определенного объекта природы или человека в виде как самой вероятности реализации неблагоприятного исхода, так и в виде возможных потерь и ущербов. В общем виде риск (R) любого генезиса можно определить в виде произведения $R = P \cdot U$, где P – вероятность наступления опасности, U – возможный ущерб от реализации этой опасности.

- *Оценка экологического риска* – процесс выявления вероятности формирования обратимых или необратимых изменений в экосистеме, компоненте экосистемы.

- *Факторы экологического риска* – природные, антропогенные или природно-антропогенные воздействия, способные вызвать нежелательно опасные изменения состояния окружающей среды и здоровья человека, т. е. факторы, таящие в себе экологическую опасность.

- *Управление риском* – это деятельность по предотвращению наступления опасности или сокращению вероятности ее развития до состояния нанесения урона природе и человеку.

- *Уязвимость* – свойство экосистемы или компонента экосистемы утрачивать способность к выполнению своих естественных или заданных функций в результате воздействия опасности.

Уязвимость в первую очередь зависит от способности самого объекта-мишени воздействия опасности сопротивляться факторам опасности или снижать степень воздействия факторов опасности за счет внутренних резервов толерантности. Это понятие непротивоположно понятиям стабильности и устойчивости [9].

Уязвимость $V(H)$ можно выразить в виде доли физических потерь по выражению

$$V(H) = N_d(H) N_t^{-1}, \quad (1)$$

где $N_d(H)$ – количество разрушенных или поврежденных зданий и других элементов, пострадавших людей, а для нашего случая – пораженная площадь земель при реализации опасности опустынивания H ; N_t^{-1} – общее количество зданий и других элементов, населения, а также общая площадь земель до поражения данной опасностью.

Теория и методология рисков технологий в настоящее время еще не сложились. Это касается прежде всего количественных оценок риска, что объясняется как сложностью природы возникновения рисков, недостаточностью знаний многих опасностей, так и относительной молодостью нового междисциплинарного направления. Шестой том издания “Природные опасности России” [2] является первым монографическим обобщением проблемы оценки рисков. Важно подчеркнуть, что здесь обсуждаются и предлагаются информационно емкие и относительно простые модели количественной оценки разных видов риска. Основное внимание уделяется одномоментным острым опасностям, таким как землетрясения, наводнения и др., связанным с человеческими жертвами и большими материальными потерями. Перманентные, т. е. постоянно действующие [10], опасности, или опасности, повторяющиеся периодически во времени и пространстве и не приводящие к неожиданным и скоротечным масштабным потерям, авторами не рассматриваются, хотя упоминаются такие перманентные опасности, как геоэкологические, овражная эрозия, подтопление территорий, просадочные явления. К перманентным опасностям следует отнести явление опустынивания. Ниже дается оценка опустынивания с применением технологии риск-анализа.

Формирование любого экологического риска, в том числе риска опустынивания, происходит при воздействии на объект опасности по схеме [11] (рис. 1).

Опасности опустынивания можно разделить на внешние и внутренние. К внешней опасности возникновения опустынивания относятся климатические факторы. Например, ранее показано [12], что опустынивание в Забайкалье возникает при значениях радиа-

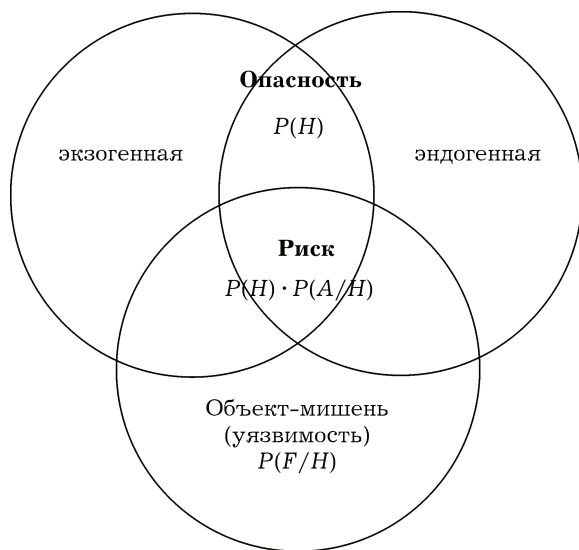


Рис. 1. Схема формирования риска при воздействии опасности на объект-мишень (модификация схемы А. Л. Рагозина [11]). $P(H)$ – вероятность образования опасности H определенной интенсивности и длительности воздействия; $P(F|H)$ – уязвимость объекта-мишени для опасности H ; $P(H) \cdot P(F|H)$ – риск определенных потерь в объекте-мишени за определенное время под воздействием опасности H

ционного индекса сухости менее 2,5. Внешние опасности с наибольшей вероятностью реализуются, если этому способствуют свойства самого объекта, т. е. имеются внутренние опасности. В частности, при опустынивании первоочередным объектом-мишенью являются почвы, ввергающиеся в результате аридизации и засух в риск опустынивания. Причем риск опустынивания в регионе существенно возрастает вследствие уязвимости самого объекта – почв и пород, имеющих легкий гранулометрический состав, т. е. легкие почвы содержат внутренние опасности, способствующие скорейшей реализации опустынивания. К внешней опасности вместе с климатом относится антропогенная деятельность, провоцирующая природные опасности.

Таким образом, воздействие события опасности только тогда эффективно, когда в объекте-мишени при этом возникают отказы, когда система становится неспособной выполнять свои функции или, иначе говоря, происходят определенные потери, наносится некий ущерб. Как опасности, так и потери, равно как и экологические риски, по своей природе имеют вероятностный характер. Причем

вероятность отказов объекта-мишени почти всегда пропорциональна вероятности опасностей [2].

В концептуальной модели (рис. 2) принято, что на территории региона площадью S_p возникает опасность опустынивания H , поражающая площадь S_H . В качестве объекта-мишени приняты почвы сельскохозяйственных угодий площадью S_{c-x} . Вероятность поражения этой опасностью как сельскохозяйственных угодий, так и всей территории региона соответственно равняется

$$P(S_p) = \frac{S_H}{S_p}, \quad (2)$$

$$P(S_{c-x}) = \frac{S_H}{S_{c-x}}. \quad (3)$$

При теоретически допустимых $S_H > S_p$ или $S_H > S_{c-x}$ рассматриваемые вероятности $P(S_p) = 1$, $P(S_{c-x}) = 1$. Эти соотношения также можно интерпретировать как уязвимость земель, или вероятную опасность опустынивания всех земель региона или сельскохозяйственных угодий.

Вычисленные вероятности $P(S_p)$, $P(S_{c-x})$ дают представление о потерях земель при реализации опасности H – опустынивания. Как следует из выражений (2, 3), вероятностная оценка выступает в элиминированном виде, что повышает ее универсальность как показателя реакции на опасность.

Данная вероятностная оценка несет в себе и другую нагрузку, а именно количественно показывает степень физической уязвимости территории процессами опустынивания, поэтому для нее введем новое обозначение $V_f(H)$. Тогда материальный ущерб можно представить в виде пораженной площади $D_f(H)$ по формуле

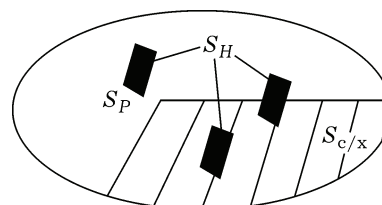


Рис. 2. Схема поражения территории региона (S_p) и сельскохозяйственных угодий (S_{c-x}) природно-антропогенной опасностью – опустыниванием определенной интенсивности и длительности воздействия (S_H) (по: [2], с дополнениями и изменениями)

$$D_f(H) = V_f(H) \cdot S_{c-x} = \frac{S_H \cdot S_{c-x}}{S_p} \quad (4)$$

Отсюда удельный риск поражения единицы площади сельскохозяйственных угодий во времени и пространстве (год^{-1})

$$R_{sf}(H) = P^*(H) \cdot V_f(H), \quad (5)$$

где $P^*(H)$ – частота возникновения опасности, численно равная статистической вероятности (случаев/год, т.е. $1/\text{год}$, год^{-1}). Опасность опустынивания существует на всем протяжении времени его действия, поэтому справедливо принять $P^*(H) = 1$, т.е. удельный риск деградации единицы площади региона при опустынивании (год^{-1})

$$R_{sf}(H)_p = V_f(H) = \frac{S_H}{S_p}, \quad (6)$$

а площади сельскохозяйственных земель (год^{-1})

$$R_{sf}(H)_{c-x} = V_f(H) = \frac{S_H}{S_{c-x}} \quad (7)$$

Впрочем, при формальном анализе принципиальная возможность перейти от вероятностей S_H/S_p или S_H/S_{c-x} к случайной величине частоты имеется. Так, в теории катастроф [4] число аварий/год определяют по формуле

$$P^*(H) = \text{antlog}_{10} N_{is}, \quad (8)$$

при этом N_{is} – вероятностное число, не являющееся явной вероятностью события; рассчитывается через ряд поправочных коэффициентов. Авторы [4] предлагают табличное решение уравнения (8).

Полный экологический риск (га/год) будет равен:

$$R_f(H)_p = P^*(H) \cdot D_f(H) = R_{sf}(H)_p \cdot S_{c-x} = \frac{S_H \cdot S_{c-x}}{S_p} \quad (9)$$

Из сравнения с уравнением (4) вытекает, что материальный ущерб и полный риск определяются одинаково, но несут разную смысловую нагрузку.

Определение полного экологического риска потерь от опустынивания для сельскохозяйственных угодий упрощается и оценивается площадью, подверженной опасности опустынивания H :

$$R_f(H)_{c-x} = P^*(H) \cdot D_f(H) = R_{sf}(H)_{c-x} \cdot S_{c-x} = \frac{S_H \cdot S_{c-x}}{S_{c-x}} = S_H \quad (10)$$

Формулы (5–7) характеризуют физический (вещественный) риск удельных потерь в пределах всей оцениваемой территории и территории сельскохозяйственных угодий за единицу времени, что можно выразить размерностью га/(га · год), т.е. год^{-1} . Этот риск следует называть удельным риском.

Удельный экологический риск является основным показателем, он позволяет проводить сравнительный анализ оценок риска от опасностей, приводящих к потере земельных ресурсов, особенно при отсутствии полной и достоверной информации об их размещении и стоимости. Этот показатель является интегральным, позволяющим оценивать надежность и устойчивость территорий к воздействию опасностей разного генезиса.

Из формул (5–7) также следует, что удельный риск характеризует вероятность поражения или отказа оцениваемой территории. Устойчивость/надежность территории, подверженной опасности H , можно определить в виде безразмерной вероятности безотказной работы

$$P(F|H) = 1 - V_f(H) = 1 - \frac{S_H}{S_p} \quad (11)$$

или:

$$P(F|H) = 1 - \frac{S_H}{S_{c-x}} \quad (12)$$

Так, можно оценить устойчивость любых по размеру территорий с использованием ограниченного числа показателей вероятности ее безотказной работы.

Полный риск (9, 10) отображает условную скорость (га/год) потери земель в пределах сельскохозяйственных угодий территории.

Опустынивание – процесс инерционный, длящийся сотнями лет, т.е. эта опасность относится к перманентным, поэтому риски опустынивания должны рассчитываться с учетом кинетики процесса

$$R_f(H) = V_n \cdot P(V_n) \cdot P(L) \cdot L_T; \quad (13)$$

$$R_{sf}(H) = \frac{R_f(H)}{S_{c-x}}, \quad (14)$$

где V_n – линейная скорость развития процесса, м/год; $P(V_n)$ – вероятность реализации этой скорости; $P(L) = V_m(H) = L_n/L_T$ – геометрическая вероятность линейного поражения (уязвимость) территории при протя-

женности границы развития процесса L_n и общей ее протяженности L_T .

Опустынивание развивается на тех площадях, которые освоены под пашню или интенсивно выбиваются при высоких пастбищных нагрузках, поэтому линейными изменениями можно пренебречь. Важнее глубина стационально-деструктивных изменений опустынивающихся экосистем. Выразим степень изменения через скорость потерь почвенного гумуса, т/(год · га). Тогда в результате модификаций имеем для полного риска

$$R_f(H) = V_G \cdot P(V_G) \cdot P(U) \cdot U_{исх}, \quad (15)$$

где V_G – скорость сработки запасов гумуса, т/(га · год); $P(V_G)$ – вероятность реализации этой скорости, $P(V_G) = 1$; $P(U) = U_{нас}/U_{исх}$ – вероятность поражения в запасах гумуса при его запасе в настоящее время $U_{нас}$ и исходном запасе $U_{исх}$ до опустынивания.

Удельный риск

$$R_{sf}(H) = \frac{R_f(H)}{S_{c-x}} = V_G \cdot P(V_G) \cdot P(U) \cdot U_{исх}/S_{c-x}. \quad (16)$$

К сожалению, сегодняшний уровень развития науки не позволяет рассчитать риски опустынивания по предложенным формулам (13–16). Кинетические коэффициенты выведены только для ограниченного числа почв [13], а проблема изучения кинетики деградации почв только поставлена.

На основе оценок физического риска проводится определение экономического риска:

$$R_e(H) = R_f(H) \cdot d_e, \quad (17)$$

где $R_f(H)$ – полный физический риск – определяется по формулам (9, 10) или (15), d_e – плотность национального богатства на единице площади или стоимость земли, руб./га.

Для расчета экономического риска принята кадастровая стоимость земель сельскохозяйственного назначения согласно постановлению [14].

Социальный риск поражения населения определится из выражения

$$R_e(H) = R_f(H) \cdot d_p, \quad (18)$$

где d_p – плотность населения, чел./км², чел./га.

Опустынивание как реализовавшееся событие охватывает 16 административных районов Бурятии из 21-го. Эти районы имеют общую площадь 204,1 тыс. км² (табл. 1). В опасной зоне проживает 492,5 тыс. человек. Из общей площади сельскохозяйственных угодий (2539 тыс. га) опустыниванием охвачено 923 тыс. га, что составляет 36,4 %. Наибольшая пораженность территории сельскохозяйственных угодий опустыниванием по абсолютному значению характерна для Джидинского, Кяхтинского, Мухоршибирского районов, где площадь деградации земель превышает 100 тыс. га. Также значительна опасность опустынивания в Кижингинском, Селенгинском, Бичурском и Баргузинском районах. По относительным значениям в число лидеров выходят Баргузинский, Кижингинский, Кяхтинский, Мухоршибирский районы, где опустынивающиеся земли занимают более 50 % общей площади сельскохозяйственных угодий, а опасностью опустынивания на площади 40–50 % характеризуются Курумканский, Тарбагатайский, Иволгинский, Тункинский районы.

Среди элементарных процессов опустынивания на территории Бурятии преобладают дефляционное и водно-эрозионное разрушения земель. Опасность этих процессов оценивается их развитием на площади 551,5 тыс. га, а совместно со смешанным проявлением обеих видов эрозии оценка опасности возрастает до 730,3 тыс. га, составляя 79,1 % от общей площади опустынивания.

Опасность водной эрозии выражается в поражении наибольших площадей в Селенгинском, Джидинском, Кяхтинском районах, а ветровой – в Мухоршибирском районе. Столь же интенсивно дефляция проявляется в Джидинском, Кижингинском, Кяхтинском районах.

Большие массивы подвергаются засолению, в том числе вторичному на мелиорированных землях при несоблюдении эколого-мелиоративных регламентов. Более 20 тыс. га засолено в Курумканском, Джидинском, Кижингинском районах. Галогеохимическая опасность на территории Бурятии существует для суммарной площади 193,2 тыс. га.

Т а б л и ц а 1
Площадь сельскохозяйственных угодий, подверженных опустыниванию

| Административ- ный район | Общая площадь района (Sp), тыс. га | Население, чел. | Общая площадь с/х угодий (S _{с/х}), тыс. га | Суммарная площадь опустынивания с/х угодий, (S _{сум}), тыс. га/ % | Стоимость земли* | Площадь сельскохозяйственных угодий (тыс. га), подверженных | | | засолению (S _з) |
|-----------------------------|---|--------------------|--|--|---------------------|--|--|--|--------------------------------|
| | | | | | | водной эрозии (S _в) | дефля- ции (S _д) + дефляции (S _{в+д}) | водной эрозии + дефляции (S _{в+д}) | |
| Баргузинский | 1853,3 | 28100 | 89,800 | 56,780/63,2 | 0,6765 | 7,116 | 34,987 | 1,313 | 13,364 |
| Бичурский | 620,1 | 2986 | 166,647 | 73,862/22,8 | 1,3728 | 9,195 | 1,021 | 51,616 | 12,030 |
| Джидинский | 870,0 | 36311 | 324,247 | 103,205/31,8 | 0,5940 | 32,772 | 43,062 | 3,185 | 24,186 |
| Еравнинский | 2560,0 | 19600 | 428,341 | 22,832/5,3 | 0,0858 | — | 1,800 | 3,405 | 17,627 |
| Залгравский | 660,5 | 54600 | 106,284 | 36,877/34,7 | 0,6831 | 5,206 | 10,254 | 11,947 | 9,470 |
| Иволгинский | 266,2 | 25150 | 75,293 | 31,971/42,5 | 0,0858 | — | 13,646 | 7,318 | 11,007 |
| Кижингинский | 787,1 | 20760 | 149,317 | 90,938/60,9 | 0,4158 | 22,728 | 41,782 | 3,803 | 22,625 |
| Курумканский | 1245,0 | 20760 | 119,750 | 57,989/48,4 | 0,3894 | — | 31,920 | 0,050 | 26,019 |
| Кяхтинский | 466,3 | 45400 | 199,199 | 110,519/55,5 | 0,8696 | 32,113 | 37,660 | 34,625 | 6,121 |
| Мухоршибирский | 453,2 | 31000 | 231,848 | 117,345/50,6 | 1,2639 | 20,922 | 51,375 | 25,773 | 19,275 |
| Прибайкальский | 1547,2 | 32200 | 32,447 | 6,322/19,5 | 2,2638 | 2,155 | 0,113 | 2,155 | 1,899 |
| Северобайкальский | 5400,0 | 21500 | 16,050 | 2,928/18,2 | 0,0858 | 0,802 | 1,520 | 0,606 | — |
| Селенгинский | 826,9 | 59000 | 238,745 | 79,625/33,4 | 0,0858 | 38,242 | 24,967 | 9,081 | 7,335 |
| Тарбагатайский | 330,4 | 17900 | 90,804 | 42,360/46,6 | 0,8729 | 11,723 | 12,162 | 13,784 | 4,691 |
| Тункинский | 1180,0 | 27200 | 102,369 | 47,173/46,1 | 1,6533 | 24,032 | 6,667 | 8,456 | 8,018 |
| Хоринский | 1343,1 | 23000 | 167,544 | 42,713/25,5 | 1,0329 | 24,837 | 6,679 | 1,680 | 9,517 |
| Итого | 20409,3 | 465467 | 2538,685 | 923,439 | — | 231,843 | 319,615 | 178,797 | 193,184 |

*Удельные показатели кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения, руб./м² [14].

Т а б л и ц а 2

Показатели рисков процессов опустынивания

| Риск | Водная эрозия | Дефляция | Водная эрозия + дефляция | Засоление | Суммарный риск |
|--|---------------|----------|-----------------------------|-----------|-------------------|
| Удельный физический для с/х земель, год ⁻¹ | 1,477 | 2,209 | 1,249 | 1,331 | 6,266 |
| Полный физический, га/год | 64,48 | 89,19 | 55,77 | 45,06 | 254,50 |
| Экономический, руб./год | 500,9 | 696,1 | 561,6 | 429,6 | 2188,1 |
| Социальный, чел./год | 12,2 | 15,0 | 11,3 | 7,2 | 45,7 |
| Устойчивость/надежность земель с/х угодий | 0,886 | 0,862 | 0,922 | 0,911 | 0,895 |

Баргузинский, Джидинский, Кижингинский, Кяхтинский, Селенгинский, Иволгинский районы составляют основу сельскохозяйственной отрасли республики, одновременно они являются региональными центрами экологической дестабилизации, экологических опасностей и рисков. Здесь в качестве уязвимого объекта-мишени служат каштановые почвы: легкий гранулометрический состав, малогумусность, слабая оструктуренность – внутренние экологические факторы, несущие опасность опустынивания. Из последнего вытекает, что, регулируя внутренние опасности (состав и свойства почв), можно успешно бороться с опустыниванием.

На территории Бурятии выделено четыре элементарных процесса опустынивания [15]: водная эрозия, дефляция, смешанный тип опустынивания – водная эрозия+дефляция и засоление почв.

По значениям удельного физического риска видно, что из всех типов опустынивания наибольшую опасность для сельскохозяйственных земель Бурятии представляет дефляция, так как легкие почвы, плохо оструктуренные и слабо экранированные растительностью, оказываются податливыми сильным ветрам, характерным для региона. Площадная дефляция земель происходит с интенсивностью 2,2 год⁻¹ (табл. 2).

Водная эрозия имеет интенсивность 1,5 год⁻¹. Обращает на себя внимание высокий удельный риск засоления земель, хотя по сложившимся представлениям галогеохимическая опасность имеет узколокальный ха-

рактер. Полный физический риск потери сельскохозяйственных земель в результате дефляции для всей Бурятии составляет 254,5 га/год. Дефляция приносит материальный ущерб, равный 89 га/год. Остальные элементарные процессы опустынивания по рисконосности менее значимы и весьма близки между собой – разность не превышает 20 га/год.

Экономический риск в зависимости от типа опустынивания колеблется в пределах 430–700 руб./год. Экономическая уязвимость земель наиболее значительна при дефляционном разрушении. Экономические потери от опасности водно-эрозионного и смешанного типов опустынивания почти одинаковы, разность составляет 60 руб./год.

Вред дефляции для населения оценивается величиной 15 чел./год, а неблагоприятное действие водной эрозии, водной эрозии совместно с дефляцией ежегодно испытывают соответственно 12 и 11 чел. От засоления земель ущерб испытывают 7,2 чел./год.

Земли наиболее устойчивы к таким типам деградации, как совместное проявление водной эрозии и дефляции и засоление, и наименее – в отношении дефляции.

Рассмотрим риски при опустынивании по административным районам Бурятии (табл. 3).

Удельный физический риск при опустынивании изменяется в широких пределах – от 0,08 до 0,63 год⁻¹. Близкими к средним значениям (0,39 год⁻¹) по удельному риску являются земли Заиграевского, Иволгинского, Селенгинского районов. Относительно слабым риском опустынивания характеризуются

Показатели рисков опустынивания и устойчивости земель сельскохозяйственного назначения административных районов Республики Бурятия

| Административный район | Удельный физический, год ⁻¹ | Полный физический, га/год | Экономический, тыс. руб./год | Социальный, чел./год | Устойчивость/надежность земель с/х угодий |
|------------------------|--|---------------------------|------------------------------|----------------------|---|
| Баргузинский | 0,63 | 2,75 | 18,611 | 0,86 | 0,842 |
| Бичурский | 0,44 | 19,83 | 272,176 | 3,56 | 0,889 |
| Джидинский | 0,32 | 38,48 | 228,595 | 4,23 | 0,920 |
| Еравнинский | 0,08 | 3,82 | 3,277 | 0,20 | 0,982 |
| Заиграевский | 0,35 | 5,93 | 40,505 | 3,03 | 0,913 |
| Иволгинский | 0,42 | 9,04 | 7,756 | 2,36 | 0,859 |
| Кижингинский | 0,61 | 17,25 | 71,706 | 1,40 | 0,848 |
| Курумканский | 0,48 | 5,57 | 21,709 | 0,95 | 0,839 |
| Кяхтинский | 0,55 | 47,23 | 410,712 | 10,86 | 0,861 |
| Мухоршибирский | 0,51 | 60,00 | 758,845 | 7,73 | 0,874 |
| Прибайкальский | 0,19 | 0,50 | 10,572 | 0,52 | 0,951 |
| Северобайкальский | 0,18 | 0,01 | 0,008 | 0,01 | 0,939 |
| Селенгинский | 0,33 | 22,99 | 19,724 | 5,75 | 0,917 |
| Тарбагатайский | 0,47 | 11,65 | 101,693 | 2,34 | 0,883 |
| Тункинский | 0,46 | 4,10 | 123,997 | 1,10 | 0,865 |
| Хоринский | 0,25 | 5,35 | 98,228 | 0,75 | 0,936 |
| Итого | 6,27 | 254,50 | 2188,114 | 45,65 | 0,895 |

Еравнинский, Северобайкальский, Прибайкальский и Хоринский районы. По большой величине удельного физического риска опустынивания выделяются Баргузинский, Кижингинский, Кяхтинский, Мухоршибирский районы.

При создании количественных оценочных шкал часто используется математическое ожидание, статистической оценкой которого служит значение среднего арифметического, при этом последнее в нормологии обычно принимается за норму явления [16]. Чем ближе эмпирическое значение к математическому ожиданию, т. е. к норме, тем больше признак или объект удовлетворяет требованиям типичности. Однако в случае опустынивания такая норма непригодна, поскольку как “норму” приходится характеризовать негативные процессы, развитие которых вообще нежелательно. Например, при опустынивании типичным является удельный физический риск, равный 0,39 год⁻¹, тогда как нормой опустынивания должны

быть его отсутствие или только естественная денудация.

Из этих соображений принимается линейная шкала оценки удельного физического риска. Квантом изменчивости послужило значение стандартного отклонения. Сигмальная шкала оценки риска опустынивания имеет четыре оценочных класса (табл. 4).

Незначительный удельный физический риск опустынивания характерен только для трех районов Бурятии, в которых площадь сельскохозяйственных земель невелика из-за сплошного распространения многолетней криолитозоны. Шире распространение земель, подверженных значительному риску. Этот класс риска составляют четыре района. Здесь значительный риск потерь от опустынивания испытывают земли площадью 262 тыс. га, т. е. 28 % от всей опустынивающейся сельскохозяйственной территории Бурятии.

Самая большая площадь (52 % от всех земель, подверженных опасности опустынивания) относится к классу с весьма значитель-

Шкала оценки удельного физического риска от опустынивания

| Кванты изменчивости | Шкала опустынивания, год ⁻¹ | Вербальная оценка риска | Распределение районов* | Распределение площади опустынивания, тыс. га/ %** |
|---------------------|--|-------------------------|------------------------|---|
| <M-1,5σ | < 0,23 | Незначительный | 4, 11, 12 | 32,082/3,5 |
| M-1,0σ | 0,23-0,38 | Значительный | 3, 5, 13, 16 | 262,420/28,4 |
| M+1,0σ | 0,39-0,55 | Весьма значительный | 2, 6, 8, 9, 10, 14, 15 | 481,219/52,1 |
| >M+1,5σ | > 0,55 | Сверхзначительный | 1, 7 | 147,718/16,0 |

* Приведены номера административных районов согласно табл. 1.

** Доля от площади всех земель сельскохозяйственного назначения, подверженных опустыниванию в Бурятии, %.

ным риском. В нем оказались Бичурский, Мухоршибирский и Тарбагатайский районы, где сельскохозяйственное производство ведется преимущественно на черноземах. В этих районах получили широкое распространение лесовидные породы, что указывает на высокую вероятность появления опасностей по причине особенностей материально-вещественного состава объекта-мишени.

Велика площадь земель со сверхзначительным риском. К этому классу относятся два района, почвы которых характеризуются особенно легким гранулометрическим составом. Большие площади земель выпажаны и истощены, что свидетельствует о роли агрогенеза.

Выше указывалось, что полный физический риск при опустынивании численно совпадает с материальным ущербом. Наибольшие риск и ущерб испытывают земли Мухоршибирского района, где в результате реализации опасности опустынивания ущербными оказывается до 60 га/год. Также велик ущерб в Кяхтинском районе. Немногим

он меньше в Джидинском, Селенгинском и Бичурском районах.

В соответствии с полным риском находятся экономический и социальный риски. В Мухоршибирском районе экономический риск от опустынивания составляет примерно 760 тыс., а в Кяхтинском – 411 тыс. руб./год. Экономический риск превышает 200 тыс. руб./год в Бичурском и Джидинском районах и более 100 тыс. руб./год – в Тарбагатайском и Тункинском.

Суммарное значение экономического риска опустынивания земель Бурятии оценивается в 2188 тыс. руб./год.

Неблагоприятное влияние опустынивания в Бурятии ежегодно испытывают примерно 46 чел. Уязвимость населения в Кяхтинском районе составляет 11, Мухоршибирском – 8, Селенгинском – 6, Бичурском и Джидинском – по 4 чел./год.

Шкала устойчивости земель к опустыниванию разработана на основе стандартного отклонения и состоит из четырех классов (табл. 5).

Шкала оценки устойчивости земель к опустыниванию

| Кванты изменчивости | Шкала устойчивости | Вербальная оценка устойчивости | Распределение районов* | Распределение площади устойчивых земель, тыс. га/ %** |
|---------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|---|
| <M-1,5σ | < 0,852 | Очень низкая | 1, 7, 8 | 205,707/22,3 |
| M-1,0σ | 0,852-0,894 | Низкая | 2, 6, 9, 10, 14, 15 | 423,230/45,8 |
| M+1,0σ | 0,895-0,938 | Средняя | 3, 5, 13, 16 | 262,420/28,4 |
| >M+1,5σ | > 0,938 | Повышенная | 4, 11, 12 | 32,082/3,5 |

* Приведены номера административных районов согласно табл. 1.

** В знаменателе – доля от всей площади сельскохозяйственных угодий, подверженных опустыниванию в Бурятии, %.

Очень низкой устойчивостью характеризуются земли трех районов Бурятии на территории площадью 205,7 тыс. га, что составляет от всей площади опустынивающихся сельскохозяйственных угодий 22,3 %. Земли двух районов (Баргузинский и Курумканский) расположены на массивах экологически уязвимых эоловых песков, так называемых Куйтунах. Столь же легкий гранулометрический состав характерен для почв Кижингинского района. Земли большого числа районов (шести) относятся к классу низкоустойчивых. Эти земли составляют почти 46 % общей площади территории опустынивания. Также довольно представительна группа районов со среднеустойчивыми землями.

Повышенную устойчивость к опустыниванию имеют земли трех районов слаборазвитого земледелия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые использована технология риск-анализа для оценки опасностей опустынивания. Установлены закономерности пространственного распределения земель Бурятии (в разрезе административных районов), подверженных опасности опустынивания. Даны параметры и оценки рисков. На количественной основе риск-анализа и риск-оценок показано, что наибольшими рисками опустынивания характеризуются те районы, где распаханность земель наибольшая и распространены каштановые почвы легкого гранулометрического состава. Используя в качестве кванта изменчивости величину стандартного отклонения, мы провели группировку районов по удельным физическим рискам опустынивания и степени устойчивости земель к опустыниванию. Группировка районов в целом отражает преобладающие почвы их земель сельскохозяйственного назначения по степени подверженности деградационным агентам опустынивания, что указывает на широкие возможности технологии риск-анализа и ее применимость к оценке экологических рисков, подобных опустыниванию.

Работа выполнена при поддержке проекта № 14 СО РАН «Разработка системы комплексной индикации процессов опустынивания для оценки

современного состояния экосистем Сибири и Центральной Азии, создание на ее основе прогнозных моделей и системы мониторинга» подпрограммы «Проблемы опустынивания» программы РАН № 16; проекта № 23-1 «Инвентаризация биологического разнообразия сообществ и экосистем Байкальского региона» программы Президиума РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов В. И. Оценка и управление природными рисками (состояние проблемы) // *Геоэкология*. 2007. № 3. С. 201–211.
2. *Природные опасности России // Оценка и управление природными рисками*. М.: КРУК, 2003. Т. 6. 316 с.
3. Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World. Guidelines for Natural Disaster Prevention. Preparedness and Mitigation // *World Conference Natural Disaster Reduction*. Yokohama, Japan, 23–27 May, 1994. United Nations, New York; Geneva, 1995. 17 p.
4. Владимирова В. А., Измалков В. И. Катастрофы и экология. М., 2000. 380 с.
5. Белоусова А. П. Оценка опасности и риска загрязнения подземных вод // *Геоэкология*. 2006. № 2. С. 115–123.
6. Галицкая И. В. Методологические исследования формирования геохимической опасности и риска на урбанизированных территориях // *Геоэкология*. 2007. № 3. С. 225–237.
7. Башкин В. Н. Экологические риски. Расчет, управление, страхование. М.: Высш. шк., 2007. 358 с.
8. Хоружая Т. А. Оценка экологической опасности. Обеспечение безопасности. Методы оценки рисков. Мониторинг. М.: Книга-сервис, 2002. 203 с.
9. Куликов А. И., Куликов М. А. Оценка устойчивости почв к изменению внешних условий теплообмена // *Геоэкология*. 2006. № 1. С. 66–71.
10. Ожегов С. И. Словарь русского языка. М.: Русский язык, 1988. 750 с.
11. Рагозин А. Л. Современное состояние и перспективы оценки и управления природными рисками в строительстве // *Анализ и оценка природного и техногенного риска в строительстве*. Минстрой России. М.: ПНИИИС, 1995. С. 7–25.
12. Куликов А. И., Баженов В. С., Куликов М. А. Климатическая параметризация ареала опустынивания в Бурятии и некоторые его динамические аспекты // *Структура и функционирование экосистем Байкальской Сибири: мат-лы региональной науч.-практ. конф. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2003. С. 7–9.*
13. Куликов А. И., Абгалдаев Ю. В., Чимитдоржиева Г. Д. Изменение содержания гумуса при сельскохозяйственном использовании сухостепных почв Забайкалья // *Почвоведение*. 1992. № 5. С. 43–48.
14. Постановление Правительства Республики Бурятия № 382 от 29 ноября 2006 г. «Об утверждении результатов государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения Республики Бурятия».

15. Субрегиональная программа по борьбе с опустыниванием для Республики Бурятия, Агинского Бурятского автономного округа и Читинской области. Улан-Удэ, 2000. 135 с.
16. Воробейчик Е. Л., Садьков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.

On Application of the Risk Analysis Technology for Evaluation of the Ecological Danger of Desertification (for Republic of Buryatia as Example)

L. L. UBUGUNOV¹, A. I. KULIKOV^{1, 2}, M. A. KULIKOV²

¹*Institute of General and Experimental Biology SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6
E-mail: l-ulze@mail.ru*

²*V. R. Filippov Buryat State Agricultural Academy
670037, Ulan-Ude, Pushkin str., 8
E-mail: kul-an52@mail.ru*

Possibility to use the risk analysis technology for ecological evaluation of desertification is demonstrated. Such risks are estimated quantitatively per year: specific physical year (year^{-1}), full physical (ha/year), economical (roubles/year), social (persons/year), and the function of stability (reliability) of land under desertification is determined.

Key words: desertification, ecological risks and dangers, risk analysis technology.