

УДК 57.574.474

К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭКЗОГЕННОГО ТИПА

Автономов А.Н.

Чебоксарский кооперативный институт (филиал) Российского университета кооперации, Чебоксары, e-mail: 420533@mail.ru

Проведен обзор подходов к оценке устойчивости экологических систем. Рассмотрены вопросы дифференциации экологических систем на склонах, и приведены рекомендации по оценке устойчивости склоновых экологических систем экзогенного типа по комплексу показателей. В процессе исследований склоновых экологических систем учитывали степень динамического состояния склона, степень деформации ландшафта, проективное покрытие склона растительностью и однородность растительного покрова. При анализе механических свойств грунтов определены коэффициент запаса устойчивости грунтов путем отношения суммы сил, удерживающих склон в устойчивом состоянии к сумме сил, нарушающих это состояние. Отмечено, что модуль деформации динамических грунтов может характеризовать общее структурное сцепление структуры и тела грунтов. По результатам изучения сукцессии установлено, что в процессе формирования склона после экзогенных процессов происходит постоянное изменение видового разнообразия. Численность видов увеличивается в зависимости от разрушенности первичного фитоценоза, и стабильность видов наступает в разное время. Показатель стабильности видов травянистой растительности использован как один из показателей интегральной оценки устойчивости склоновых экологических систем.

Ключевые слова: экологические системы, склоны, экзогенные процессы, растительность склонов

ON THE PROBLEM OF STABILITY OF SLOPE ENVIRONMENTAL SYSTEMS EXOGENOUS TYPE

Avtonomov A.N.

Cheboksary Cooperative Institute (branch) Russian University of Cooperation, Cheboksary, e-mail: 420533@mail.ru

A review of approaches to the evaluation of the stability of ecological systems. The problems of differentiation of ecological systems on the slopes and provides recommendations for the assessment of slope stability of ecological systems exogenous type a range of indicators. During the study of ecological systems sloping into account the degree of the dynamic state of the slope, the degree of deformation of the landscape, the projective cover of the slope vegetation and vegetation uniformity. In the analysis of mechanical properties of soils identified safety factor of soil by the relation of the forces holding the slope in the steady state to the sum of the forces that violate this condition. It is noted that the dynamic deformation modulus soils can characterize the overall structural coupling structure and body soils. Following examination of the succession ustanovlenot that during the formation of the slope after exogenous processes is a constant change in species diversity. The number of species increases with the destruction of primary phytocenosis and stability of species occurs at different times. Stability indicator species of herbaceous vegetation used as an indicator of the integrated assessment of slope stability of ecological systems.

Keywords: the ecological systems, slopes, exogenous processes, vegetation of slopes

В условиях роста активности экзогенных процессов и антропогенного освоения новых территорий возникает необходимость комплексного изучения закономерностей существования склоновых экологических систем. В различных климатических зонах в зависимости от грунтов, почв, почвообразующих пород, растительности, биоты и других элементов рельефа подходы к оценке устойчивости склоновых экологических систем не одинаковые. В данной работе экологической системой склонов называется «любое единство, включающее все организмы на данном участке склона и взаимодействующее с физической средой таким образом, что поток энергии создаёт чётко определённую трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ (обмен веществами и энергией между биотической и абиотической частями) внутри системы» [3]. Любая местность, где имеются

склоны, состоит из зон выноса, переноса и аккумуляции, границы которых меняются для каждого переносимого компонента в зависимости от его подвижности, крутизны и протяженности. Данные процессы происходят как на простых ландшафтах, так и на крупных геоморфологических подразделениях [8]. Устойчивость экологических систем, нередко рассматриваемая как синоним стабильности системы, часто ассоциируется отсутствием каких-либо значительных изменений [5]. В своем развитии она имеет, как внутренние, так и внешние границы, внутри которой постоянно происходят определенные изменения. В работах [1, 6] и других приводятся определения понятия устойчивости. По результатам изучения устойчивости лесных экосистем И.В. Таран определил устойчивость как «способность экосистем сохранять свои позиции, структуру и характер функционирования в пространстве и во

времени при изменяющихся условиях среды, в том числе и под влиянием антропогенных факторов» [7].

Многие исследователи нацелены на создание комплексной системы оценки устойчивости [2, 4]. Данное стремление не всегда позволяет правильно оценить особенности устойчивости отдельных элементов экологической системы. Проблема устойчивости, несмотря на кажущуюся простоту, остается чрезвычайно сложной и недостаточно изученной. В динамических экологических системах постоянно происходят изменения, связанные как с колебаниями факторов среды, так и постепенным повышением стрессоустойчивости живых организмов и стабилизацией видового состава.

Поэтому изучение динамики, познание факторов, влияющих на устойчивость экологических систем склонов, являются актуальной задачей.

Материалы и методы исследования

Нами исследованы склоны на территориях Чувашской Республики, Республики Татарстан и Ульяновской области по комплексу показателей, с помощью которых можно провести оценку устойчивости экологических систем экзогенного типа. Понимание устойчивости склоновых экологических систем нас

интересовало в первую очередь, с точки зрения выявления типов воздействия и реакции системы на эти воздействия для разработки мероприятий, повышающих устойчивость системы. Комплексную оценку устойчивости склоновых экологических систем можно выразить следующей формулой:

$$S = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) / 4$$

При диагностике устойчивости склонов экзогенного происхождения учитывали степень динамического состояния склона (R_1), коэффициент деформированности ландшафта (грунта) (R_2), проективное покрытие растительности (R_3) и коэффициент однородности растительного покрова (R_4).

Результаты исследования и их обсуждение

Расчет устойчивости склонов по показателю динамического состояния проводили путем определения запаса устойчивости – R_1 . При анализе механических свойств грунтов определяют коэффициент запаса устойчивости грунтов путем отношения суммы сил, удерживающих склон в устойчивом состоянии (C_1) к сумме сил, нарушающих это состояние (C). Устойчивость склона считается обеспеченной, если коэффициент запаса устойчивости больше нормативного коэффициента, равного 1,1... 1,3. Результаты изучения коэффициента запаса устойчивости приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициента запаса устойчивости склонов

№ п/п	Объект исследования (географическое положение), названия грунтов	c – значения сопротивления сдвигу грунта по результатам исследования	C_1 – значения сопротивления сдвигу грунта, соответствующие предельному состоянию склона.	R_1 – коэффициент запаса устойчивости
1	д. Шактынважи Горномарийский район Республики Марий Эл Суглинок	0,029	0,077	0,37
2	д. Кочино Мариинско- Посадский район Чувашской Республики Суглинок	0,077	0,197	0,39
3	Зеленодольский район Республики Татарстан Суглинок	0,058	0,149	0,38
4	с.Кашинка, Цильнинский район Ульяновской области Суглинок	0,023	0,059	0,39

Анализ табл. 1 показывает, что коэффициент запаса устойчивости всех изученных склонов ниже нормативного значения.

В качестве основных характеристик грунтов в отечественной и мировой практике используются показатели, соответствующие

параметрам линейно-деформируемой среды – модуль деформации. В ряде работ [9, 10] обращается внимание на то, что модуль деформации реальных грунтов зависит от большого числа факторов, в том числе истории уплотняющих нагрузок (не-

доуплотненные, нормально уплотненные, переуплотненные грунты), условий дренирования, направлений действия напряжений. Показатель модуля деформации динамических грунтов может характеризовать общее структурное сцепление структуры и тела грунтов. Известно, что модули деформации зависят не только от вида грунта, но и уровня его деформации. Основываясь на уровне деформации сдвига модули могут быть классифицированы на трех стадиях:

малой деформации, средней деформации и большой деформации [10]. Деформации на первой стадии полностью восстановимы. Модули начинают уменьшаться во второй стадии. Третья стадия соответствует большим деформациям, в которой модули продолжают уменьшаться. Ниже приводим результаты определения модуля деформации и сравнение этих значений с нормативными значениями модулей деформации суглинистых грунтов изученных районов (табл. 2).

Таблица 2

Значения модулей деформации суглинистых грунтов

Объект исследования (географическое положение), названия грунтов	Предел текучести грунта	Коэффициент пластичности	Е нор.	Е факт	$R_2 = E \text{ нор} / E \text{ фак.}$
д. Шактынважи Горномарийский район Республики Марий Эл Суглинок	0,38	0,873	15	26	1,73
д. Кочино Мариинско- Посадский район Чувашской Республики Суглинок	0,206	0,727	17	21	1,24
Зеленодольский район Республики Татарстан Суглинок	0,246	0,756	21	27	1,29
с. Кашинка, Цильнинский район Ульяновской области Суглинок	0,288	0,853	17	24	1,42

По показателю деформации грунтов на склонах можно сделать вывод, что изученные склоны имеют значения модуля деформации, превышающие нормативные значения, что говорит о подвижности склонов и деформации структуры грунта.

Коэффициент однородности структуры растений определяется условно постоянством видов растений на склоне. Результаты изучения сукцессии показывают, что в процессе формирования склона после экзогенных процессов происходит постоянное изменения видового разнообразия. Численность видов увеличивается в зависимости от степени разрушенности первичного фитоценоза, и стабильность видов наступает в разное время. Однородность структур растений – показатель, характеризующийся выравненностью фитоценоза по живой массе. В условиях склоновых экологических систем вычисляется коэффициент однородности путем соотношения массы травяного покрова на разных участках склона к массе травяного покрова контрольного (ровного) участка. Структура считается однородной, если коэффициент находится на уровне 0,6 и выше.

Устойчивость склона по качеству травяного покрова можно характеризовать такими показателями как проективное покрытие, густота травостоя и прочность дернины. Проективное покрытие оценивается по шкале Браун-Бланке: 1 балл – до 5%, 2 – 5–25%, 3 – 25–50%, 4 – 50–75% и 5 – 75–100%. Для дифференциации оценки устойчивости и приведения в единую систему нами предлагается проценты Браун-Бланке перевести в коэффициенты и соответственно шкала выйдет следующим образом: 1 балл – до 0,1; 2 балла – от 0,1 до 0,3; 3 балла – от 0,3 до 0,5; 4 балла – от 0,5 до 0,7 и 5 баллов от 0,7 до 1,0. Проективное покрытие определяется путем оценки площади травяного покрова в долях от общей площади склона. Ввиду того, что склоны имеют различную крутизну и направленность, определение проективного покрытия в долях от площади склона наиболее объективное. По данным наших наблюдений, в ландшафтных районах экзогенные процессы почти отсутствуют на склонах при коэффициенте проективного покрытия 0,7 и более, при уклоне склона

до 40 градусов. Используя коэффициент проективного покрытия, можно оценивать устойчивость склоновых экологических систем экзогенного типа по табл. 3.

Таблица 3

Оценка устойчивости экзогенного склона по коэффициенту проективного покрытия травостоя

Крутизна склона, град,	Коэффициент проективного покрытия (R_3)			
	Склон устойчивый	Устойчивость склона нарушена	Устойчивость склона утрачена	Устойчивость склона не восстанавливаемая
30–40	0,9–1,0	0,8–0,9	0,7–0,8	< 0,7
20–30	0,8–0,9	0,7–0,8	0,5–0,7	< 0,5
10–20	0,7–0,8	0,5–0,7	0,4–0,5	< 0,4
До 10	0,5–0,7	0,4–0,5	0,3–0,4	< 0,4

При определении качества дернового слоя почвы можно подсчитывать количество побегов травянистых растений. При этом, в зависимости от густоты травостоя, в почве формируется определенная структура, позволяющая связывать почву в единый монолит. Во многих работах [11, 12] доказано, что количество корневой массы прямо пропорционально числу побегов.

Количество побегов подсчитывали на пробных площадках размером 20×20 см в нескольких местах склона. Характерным признаком при изучении числа побегов травянистой растительности является проективное покрытие. Чем больше про-

цент проективного покрытия, тем меньше закладывают площадки для изучения. При равномерном травяном покрытии и однородности фитоценоза достаточно определение количества побегов на разных участках склона на площади от 80 до 120 кв. см. На изучаемой территории по схеме конверта выделяют участки для изучения и подсчитывают число побегов внутри квадрата, ограниченного деревянной рамкой. Данные по определению числа побегов травянистой растительности на склонах разной экспозиции и распределение склонов по устойчивости приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка устойчивости экзогенного склона по количеству побегов трав (шт.)

Направление склона	Коэффициент относительной устойчивости по количеству побегов (контроль 220 побегов) (R_4)							
	Склон устойчивый		Устойчивость склона нарушена		Устойчивость склона утрачена		Устойчивость склона невосстанавливаемая	
	К-во растений	Куст	К-во растений	Куст	К-во растений	Куст	К-во растений	Куст
южный	> 220	1	140–210	> 0,6	80–140	> 0,36	< 80	< 0,36
восточный	> 180	0,9	100–180	> 0,45	60–80	> 0,27	< 60	< 0,27
северный	> 140	0,6	80–140	> 0,36	40–60	> 0,18	< 40	< 0,18

Склоны любой ориентации должны иметь не менее 140 побегов трав на пробной площадке (400 кв. см.) для их отнесения к группе устойчивых.

Таким образом, устойчивость склоновых экологических систем можно оценивать разными подходами. Общую интегральную оценку устойчивости склоновых экологических систем производят суммированием полученных коэффициентов и делением на количество показателей. При этом среднее значение коэффициента устойчивости не может быть ниже значения 0,6.

Список литературы

1. Бех И.А. Антропогенная динамика лесов Западной Сибири и ее регулирование / И. А. Бех // Контроль и реабилитация окружающей среды : II Междунар. симп. – Томск, 2000. – С. 4–8.
2. Коломыц Э.Г. Региональная модель глобальных изменений природной среды / Э. Г. Коломыц. – М.: Наука, 2003. – 371 с.
3. Одум Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
4. Попова Н.В. Диагностика устойчивости экосистем по интенсивности процессов трансформации органического вещества / Н.В. Попова // Экологические системы и приборы. – 2007. – № 5. – С. 3–5.

5. Реймерс Н.Ф. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы / Н.Ф. Реймерс, А.В. Яблоков. – М. : Наука, 1982. – 144 с.

6. Росновский И.Н. Устойчивость почв в экосистемах как основа экологического нормирования / И.Н. Росновский // Томск : Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2001. – 252 с.

7. Таран И.В. Рекреационные леса Западной Сибири / И.В. Таран. – Новосибирск : Наука, 1985. – 230 с.

8. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова / В.М. Фридланд. – М. : Наука, 1983. – 196 с.

9. Mulla D.J. Mappingband managing spatial patterns in soil fertility and crop yield / D.J. Mulla // Soil Specific Crop Management // Roberts P.C., Rust R.H., Larson W.E. (eds.). American Society of Agronomy. – Madiso : Wis. USA, 1996. – P. 835–854.

10. Uri N.D. Agriculture and the environment – the problem of soil erosion / N. D. Uri // Journal of Sustainable Agriculture. – 2001. – Vol. 16 (4). – P. 71–91.

11. Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements. 2004.

12. Xiong Yu. Field evaluation of ground stiffness by static and dynamic tests. EJGE papers. (<http://www.ejge.com/2004/>).

References

1. Beh I.A. Antropogennaja dinamika lesov Zapadnoj Sibiri i ee regulirovanie / I.A. Beh // Kontrol' i rehabilitacija okruzhajushhej sredy : II Mezhdunar. simp. Tomsk, 2000. p. 48.

2. Kolomyts E.G. Regional'naja model' global'nyh izmenenij prirodnoj sredy / Je. G. Kolomyc. M. : Nauka, 2003.-371 p.

3. Odum Y. Osnovy jekologii / Y. Odum. M. : Mir, 1975. 740 p.

4. Popova N.V. Diagnostika ustojchivosti jekosistem po intensivnosti processov transformacii organicheskogo veshhestva / N.V. Popova // Jekologicheskie sistemy i pribory. 2007. no. 5. p. 35.

5. Rejmers N.F. Slovar' terminov i ponjatij, svjazannyh s ohranoj zhivoj prirody / N.F. Rejmers, A.V. Jablokov. M. : Nauka, 1982. 144 p.

6. Rosnovskij I.N. Ustojchivost' pochv v jekosistemah kak osnova jekologicheskogo normirovanija / I.N. Rosnovskij // Tomsk : Izd-vo In-ta optiki atmosfery SO RAN, 2001. 252 p.

7. Taran I.V. Rekreacionnye lesa Zapadnoj Sibiri / I.V. Taran. Novosibirsk : Nauka, 1985. 230 p.

8. Fridland V.M. Struktura pochvennogo pokrova / V.M. Fridland. M. : Nauka, 1983. 196 p.

9. Mulla D.J. Mappingband managing spatial patterns in soil fertility and crop yield / D.J. Mulla // Soil Specific Crop Management // Roberts P.C., Rust R.H., Larson W.E. (eds.). American Society of Agronomy. Madison : Wis. USA, 1996. P. 835–854.

10. Uri N.D. Agriculture and the environment the problem of soil erosion / N. D. Uri // Journal of Sustainable Agriculture. 2001. Vol. 16 (4). P. 71–91.

11. Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements. 2004.

12. Xiong Yu. Field evaluation of ground stiffness by static and dynamic tests. EJGE papers. (<http://www.ejge.com/2004/>).

Рецензенты:

Захаров К.К., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой социальной экологии и экологического права Филиала Российского государственного социального университета, г. Чебоксары;

Васильев О.А., д.б.н., профессор кафедры землеустройства, кадастра и почвоведения Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, г. Чебоксары.

Работа поступила в редакцию 02.09.2014.