

## **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ КРАЙНЕГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ, НАРУШЕННЫХ ПРИ СООРУЖЕНИИ ВРЕМЕННЫХ АВТОДОРОГ**

**Приведены результаты анализа важнейших природно-климатических факторов, предопределяющих темпы самовосстановления растительности после окончания эксплуатации временных автодорог в условиях Крайнего Северо-Востока России. Представлены возможности объективной оценки экологического ущерба, наносимого территории при сооружении на ней временных автодорог, за счет имитационного моделирования.**

**Ключевые слова:** временная автомобильная дорога, природно-климатические факторы, самовосстановление экосистемы, гомеостазис, имитационное моделирование.

Основной функцией транспортной инфраструктуры Магаданской области является обеспечение грузопотоков к горнопромышленным территориям региона. В условиях крайне ограниченных объемов внутрирегиональных авиаперевозок, отсутствия железнодорожных путей и пригодных для грузового судоходства рек практически 100% перевозимых грузов доставляются автомобильным транспортом. При этом автодорожная сеть области отчетливо разделена на два сегмента. Основу стационарного сегмента составляет федеральная трасса М56 «Колыма» (Якутск – Магадан) с многочисленными ответвлениями к наиболее крупным населенным пунктам. Строительство постоянных автодорог непосредственно к каждому россыпному месторождению экономически нецелесообразно, поскольку время полной отработки одной россыпи редко превышает 5 лет при общей площади только основных горнопромышленных территорий области более 140 тыс. км<sup>2</sup>. Это предопределяет существование многочисленных временных автодорог, каждая из которых прокладывается от ближайшей к месторождению точки стационарного сегмента до конкретного россыпного месторождения. Структура дорожного полотна временной автодороги, а также время года, в течение которого возможна ее эксплуатация, определяются конкретными ландшафтными и природно-климатическими условиями. Строительство каждой временной автодороги начинается при переходе соответствующего месторождения в разряд экономически целесообразного для разработки, что происходит под влиянием множества плохо

прогнозируемых экономических факторов. Таким образом, формирование сегмента временных автодорог в значительной степени характеризуется отсутствием перспективного планирования, в том числе в части оценки и предотвращения наносимого экологического ущерба.

Срок эксплуатации временных дорог совпадает со временем разработки россыпи, после чего их обслуживание прекращается, а на задействованной территории начинаются процессы самовосстановления нарушенных экосистем. Неблагоприятные природно-климатические условия Крайнего Северо-Востока России обуславливают как весьма большую длительность самовосстановительных процессов, так и их сильную зависимость от местных условий.

Одним из двух важнейших факторов, предопределяющих темпы самовосстановления растительности как основы природных комплексов, являются сформировавшиеся на территории типы почв. Практически все доминирующие типы почв региона сильно уязвимы в отношении техногенных факторов, причем степень их устойчивости к антропогенным воздействиям существенно различается [1]. Наименее устойчивы к механическому воздействию почвы тундр, для которых любое частичное повреждение верхнего растительного слоя приводит к развитию термоабразивных и термоэрозионных процессов с продолжением разрушения почвенного покрова даже после прекращения техногенной нагрузки на территорию. Криолитоземы и торфяно-болотные льдисто-высокомерзлотные почвы обладают схожим характером деградации при механических повреждении-

ях, приводящих к нарушению их теплового режима. Ведущим процессом деградации глееземов, криоземов и торфяно-болотных почв являются механические нарушения органогенного горизонта. Относительная устойчивость к механическим повреждениям тундровых подбуров определяется свободным дренажом, господством окислительных условий, высокой скважинностью и водонепроницаемостью.

Почвенный покров под кедровым стлаником, образуемый в основном таежными подбурами и иллювиально-гумусовыми комплексами, является свободно дренируемым и относительно устойчивым к механическим нарушениям. Однако, в связи с высокой возгораемостью стланика и надпочвенных хвойных подстилок, весьма высока его уязвимость для пирогенных воздействий, в первую очередь имеющих антропогенный характер; при сгорании органических горизонтов почв начинаются процессы интенсивного смыва и дефляции мелкозема. Почвенный покров под лиственничными лесами и зарослями кедровых стлаников на высоких частях пойм, речных террасах, пологих шлейфах склонов, водораздельных равнинах и в межгорных понижениях (подзолы иллювиально-гумусовые и пойменные мелкодерновые почвы, формирующиеся на песчано-супесчаных каменисто-мелкоземистых отложениях) относительно устойчив к механическим воздействиям. Однако при превышении некоторого уровня повреждения на данных типах почв начинаются интенсивные процессы деградации почвенного покрова под влиянием ветровой эрозии.

Вторым важнейшим фактором, предопределяющим темпы самовосстановительных процессов, является радиационный режим территории. В конечном счете именно среднегодовая динамика поступления на территорию солнечной радиации способствует формированию определенного термического режима, приводящего, в свою очередь, к тем или иным темпам годового восстановления фитомассы в поврежденных растительных комплексах. Кроме того, для Магаданской области характерна сильная корреляция типа доминирующих почв с отношением сумм положительных температур к радиационному балансу в суммах тепла выше 0 °С [2].

Таким образом, учет радиационного режима территории, в том числе на основе методов

имитационного моделирования, является принципиально необходимым условием для достоверного прогнозирования экологических последствий от антропогенного воздействия на природные экосистемы при сооружении временных автодорог, особенно в неблагоприятных природно-климатических условиях Крайнего Северо-Востока России.

Приток энергии на территорию обычно осуществляется в основном за счет прямой или рассеянной солнечной радиации; влияние переноса тепла воздушными массами может быть заметным в случае наличия вблизи от рассматриваемой территории значительных водных масс (морские или океанические площади, крупные озера) либо значительной высотной дифференциации территории. В случае отсутствия подобных ландшафтных особенностей вклад в тепловой режим переноса тепла воздушными массами, по сравнению с количеством непосредственно поступающей на территорию солнечной радиации, можно считать малозначимым.

При прогнозировании экологического ущерба территории, на которой расположены временные автодороги, предлагается выделять растительные комплексы как основной элемент, во-первых, определяющий уровень сложности всей экосистемы в целом, и, во-вторых, характеризующийся наибольшей инерционностью и устойчивостью к случайной ежегодной изменчивости климатических воздействий. Именно стабильность растительных комплексов обеспечивает динамическое равновесие всей экосистемы в целом, когда ее ежегодные состояния незначительно колеблются в достаточно малой окрестности около среднего, типичного состояния. Такое свойство экосистем к поддержанию динамического равновесия является гомеостазисом, а само среднее равновесное состояние – гомеостазисным. Гомеостазисное состояние как растительных комплексов, так и всей экосистемы в целом формируется под влиянием многолетнего воздействия соответствующих некоторой местности природно-климатических факторов.

Изменение во времени состояний экосистем на территориях, на которых расположены временные автодороги, происходит за счет двух основных процессов, взаимно противоположно направленных по отношению к изменению параметров, характеризующих данные состояния. Нарушение структуры естественного почвенно-

го покрова и полное разрушение растительности, приводящие к ухудшению показателей экологического состояния, вызывается процессами строительства автодорог, наличие которых на территории обусловлено определенной экономической эффективностью. Частичная компенсация этих нарушений может происходить по завершении эксплуатации временных дорог, за счет осуществления мероприятий по рекультивации нарушенных территорий. Возвращение природных экосистем в исходное состояние происходит под влиянием природно-климатических факторов за счет процессов самовосстановления; основным результатом этих процессов является формирование типичного растительного покрова. По окончании эксплуатации автодороги и завершении рекультивационных мероприятий самовосстановительный процесс остается единственным фактором, способствующим смещению природных экосистем к их гомеостазисному состоянию; время завершения этого процесса в значительной степени определяется степенью максимальной деформации природных комплексов. Основные факторы, влияющие на процессы трансформации экосистем территорий временных автодорог, показаны на рисунке 1.

Возможности эмпирического изучения самовосстановительных процессов на территории Магаданской области существенно ограничены длительностью процессов, большим разнообразием внешних условий, отсутствием репрезентативных объемов данных многолетних систематических наблюдений. В этих условиях достоверное прогнозирование хода самовосстановительных процессов невозможно без широкого привлечения методов математического моделирования, в первую очередь имитационного, позволяющих получать количественные значения основных параметров экологического состояния природных комплексов.

При моделировании самовосстановительных процессов принципиально значимой является их взаимосвязь с деструктивными техногенными процессами на территории, а также влияние основных природно-климатических факторов – солнечной

радиации и природно-генетического потенциала почвенных комплексов. Скорость протекания процессов возвращения природных комплексов в начальное равновесное состояние, в конечном счете определяющая величину самовосстановительного потенциала, непосредственно зависит от состояния природных комплексов в начале процессов самовосстановления и от их конечного, гомеостазисного состояния. Показатели природно-генетического потенциала почвы и обобщенные показатели динамики солнечной энергии определяют гомеостазисное состояние природных комплексов и тем самым также влияют на темпы протекания моделируемых процессов самовосстановления. Динамика солнечной энергии, кроме того, является значимым фактором для моделирования годового прироста живой массы растительных комплексов (фитомассы) в течение вегетативного периода.

При моделировании динамики солнечной радиации существенным является определение периода моделирования. Несмотря на то, что восстановление количества фитомассы природными комплексами ограничено вегетативным периодом, значимое влияние на самовосстановительные процессы оказывает динамика поступления солнечной энергии в течение



Рисунок 1. Структура воздействий на растительные комплексы территорий временных автодорог

всего года. Она является главным фактором, определяющим контрастность температурного режима на территории, и обуславливает формирование на территории тех типов растительных комплексов, которые наиболее приспособлены к конкретным температурным условиям, в том числе и в течение наиболее холодного периода года. Соответственно особенности именно годовой динамики солнечной радиации в конечном счете обуславливают территориальную дифференциацию количественных показателей гомеостазисных состояний природных комплексов. Кроме того, временные графики поступления солнечной энергии в зимнее время определяют криогенные параметры состояния почвы и, как следствие, темпы и продолжительность их оттаивания в период, непосредственно предшествующий вегетации. Таким образом, сроки наступления и продолжительность вегетативного периода, являющиеся важными показателями темпов самовосстановительных процессов на территории, оказываются существенно зависимыми от динамики поступления солнечной энергии в течение всего года.

Наблюдаемая годовая динамика солнечной радиации подвержена заметным вариациям, которые обуславливаются плохо прогнозируемой ежегодной изменчивостью состояния атмосферы и, соответственно, изменчивостью количества поглощаемой и рассеиваемой атмосферой солнечной энергии. Практическая невозможность получения достоверных прогнозов реального состояния атмосферы на периоды, сопоставимые со временем самовосстановления природных комплексов (десятки или первые сотни лет), приводит к необходимости моделирования с привлечением некоторых средних, типичных для рассматриваемого участка территории, параметров состояния атмосферы. Наиболее целесообразным для этого представляется использование многолетних климатических данных как максимально достоверной и статистически надежной информации [3].

Моделируемая на основе многолетних климатических данных и на протяжении одного полного года динамика состояния атмосферы является средней годовой динамикой, причем необходимо отметить, что имеет место усреднение не в пределах какого-либо одного года, а на протяжении достаточно долгого периода, как

минимум равного продолжительности наблюдений за климатическими параметрами. Получаемая по результатам дальнейшего моделирования средняя годовая динамика солнечной радиации, так же как и среднее годовое состояние атмосферы, не может быть поставлена в непосредственное соответствие с каким-либо реальным годовым периодом. Она является усреднением случайного процесса – изменения во времени значений приходящей на земную поверхность солнечной энергии, и обладает всеми присущими средним оценкам достоинствами и недостатками.

Усредненная за достаточно длительный период годовая динамика солнечной энергии не позволяет выявить и учесть влияние ежегодно меняющихся погодных условий на протекание процессов самовосстановления природных комплексов. В то же время объемы прироста фитомассы в течение вегетативного периода в первую очередь определяются показателями продуктивности почвенных комплексов, а влияние изменчивости погодных условий значительно меньше. При больших периодах прогнозирования, соответствующих срокам восстановления природных комплексов, нивелируется влияние погодных условий по отдельным годам моделируемого периода; тем самым с увеличением глубины прогнозирования уменьшается погрешность, вносимая за счет использования усредненных параметров.

Количественное описание самовосстановительных процессов основывается на модели динамики параметров состояния, учитывающей изменения их значений во времени и формируемой в виде системы дифференциальных уравнений, отражающих следующие основные закономерности трансформации данных параметров:

- прирост фитомассы в течение вегетативного периода;
- частичное отмирание фитомассы в зимний период;
- трансформация отмершей фитомассы в мертвое органическое вещество;
- частичная трансформация органического вещества в фитомассу;
- частичная трансформация органического вещества в неорганическое за счет разложения.

На основе модели динамики параметров состояния определяются прогнозируемые пе-

риоды самовосстановления растительных комплексов до заданных уровней. В результате становится возможным объективная

оценка экологического ущерба, наносимого территории при сооружении на ней временных автодорог.

16.08.2012

**Список литературы:**

1. Якубович, И.А. Геоэкологические особенности Магаданской области / И.А. Якубович. – Магадан: Кордис, 2002. – 179 с.: ил., карт.
2. Пугачев, А.А. Экологические основы рационального использования почвенных ресурсов Крайнего Северо-Востока России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.27 / А.А. Пугачев; Рос. акад. с.-х. наук. – Владивосток, 1996. – 48 с.: ил.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, части 1–6, выпуск 33. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 584 с.

Сведения об авторах:

**Якубович Анатолий Николаевич**, директор политехнического института Северо-Восточного государственного университета, доктор технических наук 685000, г. Магадан, ул. Портовая, 13, тел. (4132) 688189, факс (4132) 676948, e-mail: 54081@mail.ru

**Якубович Ирина Анатольевна**, заведующий кафедрой автомобильного транспорта Северо-Восточного государственного университета, доктор технических наук, доцент 685000, г. Магадан, ул. Портовая, 13, тел. (4132) 688189, факс (4132) 676948, e-mail: yakubovich\_irina@mail.ru

**Рассоха Владимир Иванович**, заведующий кафедрой автомобилей и безопасности движения Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, доцент 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 754182, e-mail: cabin2012@yandex.ru.

**UDC 519.86:[502.2:504.61:625.7/.8] (571.65)**

**Yakubovich A.N., Yakubovich I.A., Rassokha V.I.**

Northeast state university, e-mail: 54081@mail.ru

Orenburg state university, e-mail: cabin2012@yandex.ru

**CONCEPTUAL BASES OF MODELLING OF SELF-RESTORATION OF ECOSYSTEMS OF THE EXTREME THE NORTHEAST OF RUSSIA, BROKEN AT CONSTRUCTION OF TEMPORARY HIGHWAYS**

Results of the analysis of the major climatic factors predetermining rates of self-restoration of vegetation after the completion of operation of temporary highways in the conditions of the Extreme Northeast of Russia are given. Possibilities of an objective assessment of the ecological damage put to the territory at a construction on it of temporary highways, at the expense of imitating modeling are presented.

Key words: temporary highway, climatic factors, ecosystem self-restoration, гомеостазис, imitating modeling.

**Bibliography:**

1. Yakubovich, I.A. Geoecological features of the Magadan area / I.A. Yakubovich. – Magadan: Kordis, 2002. – 179 p.: silt., cards.
2. Pugachev, A.A. Ecological bases of rational use of soil resources of the Extreme Northeast of Russia : published summary of the doctoral thesis in biological sciences: 03.00.27 / A.A. Pugachev; Russian academy of agricultural sciences. – Vladivostok, 1996. – 48 p.: silt.
3. Scientific and applied directory on climate of the USSR. Series 3, parts 1–6, release 33. – L.: Gidrometeoizdat, 1990. – 584 p.