

УДК 630\*182.21

**ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ****А. С. Шишкин***Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru

*Поступила в редакцию 20.07.2015 г.*

Разработана и адаптирована в различных природных условиях и формах техногенного воздействия система классификации биологических объектов для проведения комплексных исследований. В работе использован опыт организации биологических исследований на отвалах горных пород угольных разрезов и полигонов золотодобычи, на территории, загрязненной атмосферными выбросами предприятий, а также на действующих и проектируемых водохранилищах ГЭС. Предлагается общая структура разработки классификационных схем техногенных поверхностей с выделением трех генерализованных уровней, имеющих свое назначение. Для зонирования использованы форма и интенсивность техногенного воздействия. Пространственная экстраполяция и прогноз техногенного влияния осуществляются с учетом геоморфологического положения и сукцессионной динамики техногенных местообитаний. Ведение мониторинга и ресурсная оценка проводятся по сукцессионным стадиям. Количественная оценка структуры техногенных поверхностей выполнена по материалам космической съемки среднего и высокого разрешения с обработкой в ГИС. Направления горной рекультивации отвалов угольных разрезов определяют три посттехногенные сукцессионные серии (эрозионная, лесная и степная), объединяемые в классы. Классы разбиваются на группы типов по геоморфологическому строению и формационному признаку с одинаковой последовательностью прохождения сукцессионных стадий: от ювенильной до закрытой, соответствующей зональной норме. Тип отражает стадию, выделяемую по доминирующей растительности. В Норильском промышленном районе (НПР) с постоянным воздействием поллютантов выделено пять радиальных зон по степени трансформации растительности, представляющих классы. По геоморфологическим признакам выделено четыре группы типов и два дополнительных, оценивающих наличие или отсутствие засохшего напочвенного покрова. Доминанты растительности, обычно находящиеся в климаксовом состоянии, определяют шесть типов. Классификационная схема воздействия водохранилищ ГЭС имеет по три уровня генерализации для водной и береговой поверхностей. Акватория разделяется на классы по ширине и направлению господствующих ветров (открытая, закрытая), группы типов по глубине (глубоко- и мелководную) и типы – по проточности и застойности. Береговая полоса делится на классы постоянной берегопереработки, периодического подтопления и климатического воздействия, группы типов и типы – по известным сукцессионным сериям и стадиям, характерным для прибрежной растительности.

**Ключевые слова:** *техногенное воздействие, классификация, отвалы угольных разрезов, Норильский промышленный район, водохранилища ГЭС.*

DOI: 10.15372/SJFS20160210

**ВВЕДЕНИЕ**

При организации исследований нарушенных поверхностей в первую очередь встает вопрос их разделения на однородные по экологическим условиям и процессам блоки. Современные естественные сообщества, сформировавшиеся в течение нескольких тысячелетий, представляют собой биологические системы, трансформиру-

ющиеся в пределах погодных и ценологических изменений вторичных сукцессий. Эти системы хорошо изучены, поскольку имеют длительную историю существования. Современные масштабные и разнообразные формы техногенного воздействия возникли за последние два столетия и отличаются ювенильными (первоначальными, эндогенными), не повторяющимися процессами экспериментального характера. Поэтому слож-

но изучать и прогнозировать состояние пост-техногенных ландшафтов, но это необходимо для формирования устойчивой среды обитания человека. Предлагается обсудить общие принципы и подходы к классификации техногенных территорий, которые сформированы и апробированы в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Институт леса).

Предварительно следует уточнить понятие термина «нарушенность», который используется в статье. Нарушенность – это разрушение природных экосистем и их отдельных компонентов, изменение структуры ландшафтов в результате антропогенной деятельности. Понятие «нарушенность» нельзя применять к процессу первичных и вторичных сукцессий, развивающихся по естественным законам, без вмешательства человека. При оценке техногенного воздействия следует говорить о нарушении естественных процессов, приводящей к формированию экосистем, не имеющих природных аналогов в окружающем фоновом ландшафте. Например, молодняк или иная стадия естественного формирования древостоя или травянистой растительности после вырубki, природного или антропогенного пожара, лесовосстановления на залежных землях не могут оцениваться как нарушение, поскольку происходит естественный процесс.

В результате выполненного структурного анализа различных форм антропогенного воздействия и естественных ландшафтов выяснилось, что классификация должна иметь целевую направленность и не может быть универсальной (Рожков, 2012). Конечный формализованный результат классификации должен укладываться в логику формирования и функционирования природных экосистем, быть апробированным и востребованным конкретной отраслью хозяйствования для разработки технологических схем мониторинга, использования, реабилитации или охраны.

Новизна проведенных исследований состоит в систематизации экологических параметров техногенных территорий различного происхождения и создании иерархии значимости действия экологических факторов. Цель – разработка классификационных схем, необходимых для организации экологических наблюдений. Выполнялись задачи: подбор модельных объектов, представляющих различные формы техногенного воздействия; проведение на них многолетних комплексных исследований почв, растительности и животного населения; выявление струк-

турных (геоморфологических) и сукцессионных закономерностей формирования техногенных ценозов.

## ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Классификация изучаемых объектов и организация научных исследований на ее основе – необходимый, но наиболее сложный этап, поэтому он вызывает больше всего дискуссий. Для оценки состояния изученности техногенного воздействия на природные системы проанализированы публикации за последние 10 лет в научном журнале «География и природные ресурсы». За этот период опубликовано 54 статьи, частично или полностью посвященные техногенному воздействию. В ряде статей констатируются нарушения (загрязнения) какой-то территории, в остальных – в разной степени детальности рассматриваются вопросы методологии и методики проведения исследований техногенных поверхностей. Поскольку перед нами стояла методологическая задача организации исследований техногенного воздействия, то дальнейшему анализу подвергалась только вторая группа (41 статья). Большая часть исследований посвящена растительности (28 %), почве (25 %), водным экосистемам (23 %), меньше всего – животным (9 %). Обзорных статей – 15 %.

В большинстве статей использован ландшафтный подход, в основе которого три показателя геосистемы: структура, динамика и функциональная связь компонентов (Сочава, 1978). В связи с этим следует отметить, что геоморфологическая основа ландшафтного деления не вызывает сомнений, в то же время динамическая оценка только по констатации современного состояния (вырубki, редины, восстанавливающиеся молодые и средневозрастные березняки на местоположениях березовых лесов) не корректна по отношению к понятию «динамика» (Кузьменко и др., 2013). В статьях отсутствует или слабо разработано до прикладного применения сукцессионное стадийное развитие геосистем (Белов и др., 2006; Кузьменко, 2006; Иванов, Пан, 2007; Пучкин, 2007; Михайлова и др., 2008; Калихман, 2011; Брагина, Герасимова, 2014; Кузнецова и др., 2014; Маргеева, 2015). Для сравнения возможного и желаемого уровней оценки динамических, сукцессионных процессов в лесных системах можно привести работу С. К. Фарбера (2000), в которой для большинства формаций и групп типов леса описаны сукцессионные серии, позволяющие давать про-

странственный и временной прогнозы состояния насаждений. Изучение функционирования связей компонентов геосистемы в географических условиях – сложная задача, которая хорошо решена на уровне геоморфологии, почвообразования, включая химические процессы, и формационного распределения растительности. Более детальный анализ всех компонентов экосистемы и особенно их стациальных связей, раскрывающих причины эндогенеза, до сих пор не выполнен.

В географических работах превалируют общие подходы к классификации, оценке и использованию природных ресурсов, разработанные В. Б. Сочавой (1978), без учета особенностей функционирования техногенных экосистем (Плешанов и др., 2012). Очень редко теоретическое ландшафтоведение доводится до прикладного использования, а иерархия ландшафтной структуры заканчивается, например, агромашином как элементарным блоком ведения сельского хозяйства (Перфильев, 2008). Традиционно экологический потенциал оценивается по гидротермическому благополучию геосистем, поэтому, по версии авторов, «грязные» производства нельзя размещать в тундровой зоне, поскольку она сильно ранима (Кузнецова и др., 2011). По этой логике НПР должен располагаться в Минусинской котловине. При этом не учитывается, что простые (бедные) геосистемы, во-первых, более устойчивы к техногенному воздействию (ничего разрушать), а во-вторых, трансформируясь под ним, могут повышать биологическую продуктивность (Шишкин и др., 2014).

В хорошей работе по использованию ГИС-формата для картографирования изменчивости ландшафтов и выделения сукцессий (Фролов, 2015) почему-то рассматриваются только три категории нарушенности: селитебная, сельскохозяйственная и пирогенная. Следует отметить, что гари не являются отражением антропогенной нагрузки (Иванов, Иванова, 2010). Кроме пожаров (беглых, низовых, верховых) есть еще вырубки, территории, нарушенные вследствие массового размножения вредителей и болезней, и лесовосстановление на залежных землях, которые хорошо читаются на снимках. Поэтому методически правильно построенная работа не дает практического эффекта, поскольку лесообразовательный процесс (сукцессии) имеет разное содержание по вариантам воздействия на древостой. В Забайкальском крае пятая часть территории подтаежной зоны была занята сельскохозяйственными, из которых сейчас более 90 %

зброшено и зарастает лесом по лиственной и хвойной сукцессионным сериям (Шишкин, Огнев, 2013).

В некоторых работах при оценке техногенных последствий недостаточно внимания уделяется описанию объектов исследования, технологии их образования и проведения горной рекультивации (Шергина и др., 2015). Поэтому не понятно, как для четырех стадий формирования почв определено индикаторное состояние растительности, а их общая периодичность равна «пятилеткам». Анализ трех сукцессионных серий (эрозионной, лесной и луговой) на отвалах Бородинского угольного разреза показывает большое различие продолжительности стадийного развития и его общего замедления при увеличении возраста отвалов (Шишкин, 2013).

Перспективный системный подход к ландшафтному планированию посттехногенных территорий используется только для проектирования рекультивации под градостроительство (Маргеева, 2015). Многие авторы промышленное воздействие используют как синоним негативного, а исходное фоновое состояние считают оптимальным для человека (Большанник, Игенбаева, 2006; Николаева, 2010; Калихман, 2011; Кузнецова и др., 2011; Чалов и др., 2015). В современных условиях нарастающего промышленного освоения природных ландшафтов актуально пересмотреть всю стратегию использования техногенных ландшафтов в сельском и лесном хозяйствах, рыбоводстве, рекреации различных форм.

Только в восьми работах из 41 в различных вариантах уделяется внимание стадийному развитию техногенных экосистем (Назаров, 2006; Бессолицына, 2007; Давыдова, 2007; Пучкин, 2007; Нечаева, Давыдова, 2008; Лисецкий, Голусов, 2011; Шергина и др., 2015; Фролов, 2015). Преобладающее большинство исследователей классифицируют техногенное воздействие по степени нарушения (по категориям состояния), часто используют балльную (качественную) оценку, реже давая количественную и присваивая баллам химические или биологические показатели (Пучкин, 2007; Гусев, 2008; Нечаева, Давыдова, 2008; Перфильев, 2008; Мячина, 2012).

По результатам анализа публикаций, посвященных наземным экосистемам, можно констатировать отсутствие единого методологического подхода к оценке причин и степени нарушенности, что не позволяет унифицировать результаты исследований.

Логично по нарастающей трансформации экосистемы выделить три стадии изменений: видового состава; половозрастной структуры и динамики численности у животных, продуктивности у растений; физиологических и морфологических изменений организмов. При этом остаются два крайних варианта: фоновое (ненарушенное) состояние, которое иногда проблематично выделить, учитывая необходимое сходство по природным условиям и стадийному состоянию, а также техногенная пустошь, которая тоже выделяется с трудом, поскольку там всегда присутствуют какие-либо биологические фрагменты.

В работах по техногенным водоемам отмечаются только два варианта разделения акватории: по ее глубине и по геологическому строению прибрежной полосы (Мазаева и др., 2006; Назаров, 2006; Николаева, 2010; Ефремов и др., 2012; Козырева и др., 2015). Не уделяется внимание структурным изменениям ландшафта в результате заполнения водохранилища (Савкин, 2000; Пурдик и др., 2011). В то же время изъятие долинного комплекса, как наиболее продуктивного элемента ландшафта, и замена его на бедный пляжный вариант (Красноярские водохранилища) или низкопродуктивный узкий (Ангарские) – наиболее актуальные направления исследований оценки воздействия водохранилищ на геосистемы (Шишкин, Тимошкин, 2010). Средообразующее действие водохранилища (формирование прибрежной полосы в результате берегопереработки, акватории с торфяными островами, подтопление, климатические изменения) не классифицируется, поэтому фрагментарные тематические исследования не могут быть системно представлены для действующих и экстраполироваться на проектируемые водохранилища (Васильев и др., 2000; Кусковский, 2000). В то же время одной из актуальных проблем изучения ихтиофауны водохранилищ считается распределение рыб во времени по фазам гидрологического режима водохранилищ и пространственного распределения по биотопам (Попов и др., 2000).

Основной принципиальный вывод из анализа журнальных публикаций – отсутствие классификационных схем техногенного воздействия, которые позволяют систематизировать исследования, а их результаты использовать в организации мониторинга и при разработке технологии реабилитации нарушенных (освоенных) ландшафтов.

В монографиях и диссертациях, посвященных техногенному воздействию, приводятся более детальные и разносторонние результаты (Космаков, 2006; Андроханов, Курачев, 2010; Куприянов и др., 2010; Зеньков и др., 2012; Манаков, 2012; Семина и др., 2013 и др.). Однако, имея тематическую направленность (почвенную, ботаническую, рекультивационную), предлагаемые классификации не всегда могут использоваться для организации комплексных экологических исследований.

В докторской диссертации Ю. А. Манакова (2012) предлагается серия классификационных схем, оценивающих техногенные поверхности угольных разрезов. В схемах учитываются степень благоприятности по экспозиции и положению на склоне; связь экологических условий, рельефа и степени выветрелости грунтов поверхности отвалов; балльная оценка интегрального показателя по семи характеристикам рельефа, почвогрунтов, стадиям сукцессий и растительности. По сумме баллов определяется стратегия проведения рекультивации. При этом не выделяется главный экологический компонент исследований и мониторинга техногенных территорий – первичные сукцессии, которые имеют три основных направления: эрозионное, лесное и степное. Каждое из них обусловлено технологией горных работ, характеристикой грунтов, продолжительностью стадий и другими параметрами, вызывающими посттехногенное состояние территории – ландшафтную структуру, динамику и функциональные связи.

Нормативные документы, регламентирующие выполнение оценки воздействия на окружающую среду и организацию ведения мониторинга, предполагают системную оценку воздействия и наблюдения всех компонентов, т. е. наличие классификационных схем. Это требование невозможно выполнить, поскольку не только отсутствуют знания функционирования региональных техногенных экосистем, но и не обоснованы федеральные нормативы (Бычков и др., 2015). Экологический мониторинг ограничивается наблюдением Росгидромета за атмосферой и поверхностными водами, а биологический (почвы, растительности, животных) и биохимический выполняются только в процессе проведения научно-исследовательских работ (НИР) (Иванов, Пан, 2007).

Для организации исследований техногенных поверхностей предлагается концептуальная схема (табл. 1). Она включает два блока: антропогенных нарушений и исследовательский, в



**Таблица 1.** Схема организации исследований нарушенных экосистем

Блок антропогенных нарушений					Исследовательский блок	
Форма воздействия					Региональные особенности природной среды	Инвентаризация
ГЭС	Горные работы	Выбросы	Сельхоз-пользование	Рубка леса	Реакция компонентов	Исследования
Тип воздействия на структуру ландшафта, рельеф, почву, растительность, животных					Техногенные сукцессии, стадии, продолжительность	Мониторинг
					Тематические классификации почв, растительности, животных	
Тестовые объекты, экстраполяция, прогнозы, моделирование, нормативы, технологии						

которых последовательно реализуются задачи, заканчивающиеся разработкой прогнозов и их моделей, региональных (зональных) и отраслевых нормативов, технологиями формирования продуктивных посттехногенных ландшафтов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для разработки классификационных схем использован опыт организации исследований отвалов горных пород угольных разрезов в различных природных зонах (Бородинского, Назаровского, Шарыповского) и полигонов золотодобычи (Енисейского кряжа, Саян); атмосферных выбросов (НПР, Ачинского НПЗ, Красноярского алюминиевого завода); действующих и проектируемых водохранилищ ГЭС (Богучанского, Усть-Илимского, Красноярского, Саяно-Шушенского, Курейского, Нижне-Курейского, Эвенкийского). Полные результаты этих исследований приведены в отчетах НИР Института леса.

Вопросы организации исследований и классификации техногенных территорий частично опубликованы и неоднократно обсуждались на конференциях различного уровня (Шишкин, Тимошкин, 2010; Шишкин, 2012, 2013; Шишкин и др., 2014). Методики выполнения тематических исследований и фактический материал представлены в отдельных работах сотрудников Института леса, преимущественно лаборатории техногенных лесных экосистем (Мурзакматов, Шишкин, 2009; Шишкин и др., 2011, 2014; Богородская и др., 2014; Ефимов, Шишкин, 2014 и др.).

Подбор мониторинговых объектов выполнен с учетом ландшафтной организации территории. Преобладал геоморфологический метод закладки пробных площадей (ПП) с учетом различной степени техногенного воздействия, трансформации рельефа, почвенного покрова, растительности и животного населения. Для сравнительной

оценки состояния биоценозов в зонах с различной интенсивностью воздействия использован прием тестового биотопа. В НПР для этого выбран долинный комплекс, обладающий интразональными свойствами и представляющий собой выровненные естественные природные экологические условия в разных ландшафтах. Количественная оценка ландшафтной структуры, с помощью которой определяли представленность, пространственное положение и экосистемную значимость контуров с их классификационным уровнем генерализации, выполнена с помощью крупномасштабной космической съемки и обработки в ГИС.

Сукцессионные стадии зарастания нарушенных территорий определяли по А. Г. Воронову (1973). Выделяли следующие стадии сингенеза: пионерную, открытую (простую), сложную и замкнутую (закрытую). Причем последняя соответствует зональной норме, что труднодостижимо при катастрофической трансформации рельефа и горной породы и последующем восстановлении их гидрологического режима и почвенных горизонтов (Курачев и др. 1994; Курачев, 1998; Андроханов и др., 2004; Куприянов и др., 2010 и др.). Возрастное состояние отвалов (молодые, средневозрастные, старые) дано по работе В. А. Андроханова и В. М. Курачева (2010).

Полученный материал позволил изучать известные фундаментальные экологические закономерности (кривую роста, эффект свободной экологической ниши, эффект запаздывания и др. (Шилов, 1997)) поэтапного формирования видового состава растений, обилия, динамики численности и структурного усложнения ценозов. При прохождении первичных сукцессионных стадий сингенеза проявляются адаптационные способности растительности и животных к образованию техногенных сообществ. Критериями для обоснования и разделения класси-

**Таблица 2.** Общая схема соответствия уровней классификации техногенных территорий критериям, показателям и их динамическому состоянию

Уровень классификации	Критерий выделения уровня	Показатель критерия	Динамическое состояние
Класс	Техногенное воздействие	Способы рекультивации, формы и зоны интенсивности воздействия	Длительность воздействия и посттехногенного состояния
Группа типов	Геоморфологическое строение, структура	Поверхности (выпуклые, вогнутые, склоновые, долины, поймы)	Сукцессионные серии
Тип	Однородный биотоп	Видовой состав, продуктивность, динамика	Сукцессионные стадии

фикационных разностей служат комплексный показатель физико-химических свойств почв и их микробиологическая активность, видовой состав почвенных и наземных беспозвоночных, млекопитающих и птиц, травянистой и древесной растительности.

По степени постоянства воздействия техногенные динамические процессы методологически подразделяются на разовое с последующим непрерывным сукцессионным (вторичным, первичным) развитием посттехногенного биоценоза (вырубка, отвалы), постоянное, приводящее к образованию техногенных ценозов (выбросы предприятий), и периодически меняющееся по степени нарушения, не позволяющее закончить полный цикл восстановления зональной нормы (водохранилища ГЭС).

Несмотря на различие техногенных форм воздействия, предлагается общая структура классификационных схем с выделением трех генерализованных уровней. Наиболее значимый из них, определяющий состояние нарушенной поверхности, ее зонирование и направление сукцессионных процессов, идентифицируется с формой и интенсивностью техногенного воздействия. На втором уровне оцениваются особенности геоморфологического положения, почвенно-грунтовых условий, пространственное распределение и сукцессионная серия техногенных местообитаний. Он обеспечивает пространственную экстраполяцию и прогноз техногенного влияния. Третий уровень – это тип, сукцессионная стадия современного состояния, элементарный биотоп, на котором непосредственно проводятся мониторинговые исследования (табл. 2).

Структурные исследования техногенных поверхностей проведены с помощью материалов космической съемки среднего и высокого разрешения с обработкой в ГИС, что позволило получить количественные показатели конфигу-

рации и площади однородных экологических контуров.

В работе использованы данные, полученные в лесотундре, находящейся под воздействием выбросов металлургического производства цветных металлов НПП (с 2002 г.), на Бородинском угольном разрезе Канской лесостепи (с 2006 г.), водохранилищах ГЭС северной (Хантайское, Курейское), средней (Эвенкийское) и южной (Усть-Илимское, Богучанское) тайги (с 2006 г.). Исследования на данных объектах продолжаются.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Отвалы горных пород Бородинского угольного разреза.** Технологическая и ландшафтная структура разреза включает два основных блока: действующий карьер и отработанные поверхности с отвалами, возвращенными в земельный фонд для дальнейшего использования. С помощью космической съемки получена биотопическая структура отвалов разреза общей площадью более 2.5 тыс. га (Шишикин, 2013).

Наибольшую долю (61.9 %) площади занимают старые (более 25 лет) отвалы со сложившимися сообществами и направлениями сукцессионных процессов, находящихся на второй и третьей стадиях сингенеза. Среди них преобладают отвалы с плодородным слоем почвы (ПСП), рекультивированные под сельскохозяйственное использование (34.9 %). Участки с естественным зарастанием древесной растительностью не превышают 12.7 %. В последнее время существенно увеличилась доля отвалов без нанесения ПСП под лесозарращивание и создание лесных культур (24.3 %). Значительные площади заняты откосами отвалов (6.2 %) и нерекультивированными отвалами (8.0 %), на которых, несмотря на возраст, идут постоянные эрозионные процессы различных форм – от

плоскостного смыва грунтов до оврагообразования. Озера (всего 13) образуются в результате поверхностного стока атмосферных осадков и создания водоупорного горизонта отвалов (Ефимов, 2011). Средняя площадь водоемов составляет 2.4 га при глубине более 3 м, что исключает промерзание и свидетельствует о пригодности для зарыбления. Следует отметить образование значительных площадей временных весенних водоемов, определяющих заливной характер земель и соответственное формирование растительности на переувлажненных участках.

Таким образом, обработанная поверхность Бородинского разреза представляет собой систему разновозрастных отвалов, отличающихся технологией проведения горных работ, образующих техногенный ландшафт со сложным рельефом, гидрологией и различными сукцессиями, определяющими оригинальную пространственную и временную биотопическую структуру, не имеющую природных аналогов.

Направления горной рекультивации и особенности формирования рельефа и почвогрунтов, обуславливающие динамические процессы, а также их представленность в техногенном ландшафте, определяют выбор трех классов посттехногенных сукцессионных серий: эрозионного, лесного и степного.

*Эрозионный класс* сукцессий развивается на нерекультивированных отвалах, представляющих собой отсыпанные экскаватором поверхности с конусами горной породы, а также на откосах отвалов всех типов. Эрозия обусловлена механическими свойствами горной породы и гравитационным сползанием, ветровым развеиванием и размыванием осадками. Конусовидный мезорельеф определяет большую экспозиционную изменчивость светового и влажностного режимов в пределах десятка метров. Особенно велико значение такого рельефа в условиях лесостепи с высокой инсоляцией и распространенным метелевым переносом снега с выпуклых поверхностей и задержкой его в западинах. Контрастность условий произрастания определяется крутизной и экспозицией склонов и проявляется в различии освещенности, режиме увлажнения и промерзания грунта (Куприянов и др., 2010).

Геоморфологическое разнообразие нерекультивированных отвалов определяет широкий спектр сингенетических сукцессий эрозионного класса и фрагментарное соседство всех посттехногенных стадий других классов (лесного и степного). Биотопическая мозаика усиливается

наибольшим проявлением биотических факторов, связанных с высоким биоразнообразием и зоохорностью. В элювиальной части склона, где происходит постоянное обновление чехла техногенного элювия, растения не поселяются даже через 30 лет после образования отвала. В транзитной зоне формируются пионерные сообщества из мать-и-мачехи *Tussilago farfara* L. и полыни Сиверса *Artemisia sieversiana* Willd с низким проективным покрытием. В нижней аккумулятивной части склона, где происходит накопление мелкозема и создаются благоприятные условия для поселения растений, формируются группово-зарослевые, почти монодоминантные сообщества из вейника *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth и желтого донника *Melilotus officinalis* (L.) Pall. В самой нижней части в зоне делювиальных отложений и в межгребневых впадинах формируются лесные проценозы. Среди отсыпанных конусов расположены небольшие понижения, сезонно заполняемые водой, где создаются условия для поселения гигрофитов.

В зависимости от механического состава грунтов процесс стабилизации может продолжаться до 50–80 лет. Эрозионная стадия, связанная с постоянным изменением поверхности грунтов на отвалах, выделяется только в эрозионном классе и продолжается до выработки базиса эрозии. После этого создаются условия для формирования растительности и поверхность переходит в лесной или степной класс сукцессий.

*Лесной класс.* На выровненных отвалах без ПСП под лесозарращивание основная усадка грунта проходит вертикально в первые 2–3 года. Более длительное время наблюдаются поверхностное перемещение легких фракций и образование корки. Сланцевые горные породы при попадании на дневную поверхность разрушаются с увеличением объема, что приводит к «втягиванию» лесных культур и засыпанию корневой шейки на глубину более 10 см. Микрорельеф обуславливает мозаичное формирование пионерной растительности прежде всего с выраженной азотфиксирующей способностью (облепихи, донника). Однородность отсыпаемых горных пород, а также их планировка приводят к низкому почвенно-грунтовому разнообразию поверхности рекультивированных отвалов. На относительно выровненном отвале выделяются две формы рельефа – аккумулятивно-выпуклая и денудационно-вогнутая, которые различаются по составу растительности и распределению колоний мелких млекопитающих.

Гребнистый микрорельеф способствует задержанию семян и в сочетании с локальным увлажнением – появлению всходов листовых пород и сосны. Экспериментальные посевы семян сосны и лиственницы показали плохую грунтовую всхожесть на пионерной стадии естественного возобновления, которому препятствуют продолжающаяся подвижность и иссушение верхнего горизонта с образованием корки. В то же время культуры сосны и кедра имеют высокую приживаемость, а со второго года прирост может достигать II класса бонитета (Мурзакматов, Шишкин, 2009). Для пионерной травянистой стадии лесного класса характерно доминирование донника, а в понижениях – вейника тростниковидного, которое сохраняется до формирования сомкнутого древесного полога. Залеменные участки с высотой деревьев более 1.5–2.0 м начинают привлекать зоохорных птиц, что приводит к формированию ягодного подлеска, в основном из облепихи. Это служит показателем пионерной смешанной древесно-кустарниковой стадии сингенеза и соответствует молодняку первого класса возраста.

На молодых отвалах в лесных культурах сосны через четыре года после их создания вначале наблюдается массовое образование грибного мицелия, а через год – раннее (июнь) образование плодовых тел микоризообразователя масленка позднего *Suillus luteus* L. Roussel, что является одним из признаков прохождения пионерной стадии формирования лесного ценоза.

Для простой стадии лесной серии характерны все свойства жердняка второго класса возраста с формированием типичных отличительных признаков лесных формаций по породному составу, напочвенному покрову, подросту и подлеску, процессу изреживания, населению животных.

Через 30 лет под древесным пологом уже формируется 2–3 см собственного гумусового горизонта ( $A_1$ ) посттехногенных почв. По результатам моделирования превращение органического опада в генетические горизонты происходит сразу, но значимую мощность  $A_0$  достигает к 20,  $A_1$  – к 60, АВ, В – к 80 годам (Лисецкий, Голеусов, 2011). На средневозрастных отвалах простой стадии сингенеза видовое разнообразие шляпочных грибов (подберезовик, подосиновик, белянка, груздь настоящий, валуй, сыроежки) увеличивается в соответствии с произрастанием древесных пород и образованием лесной подстилки.

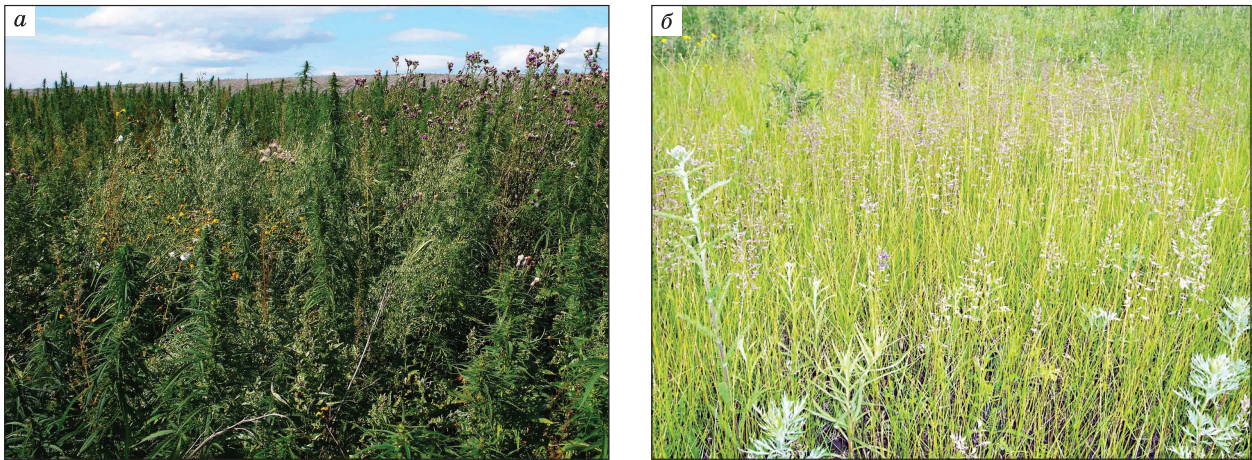
Сложная стадия лесной серии наступает в средневозрастном классе древостоя после формирования признаков всех элементов леса, свойственных насаждению определенного состава. Приспевающие, спелые и перестойные древостои после неоднократных прогораний и установления вторичных пирогенных циклов напочвенного покрова следует относить к закрытой стадии. По основным параметрам посттехногенных насаждений, исключая мощность генетических горизонтов почвы, будут соответствовать зональной норме колочных березняков или сосновых боров лесостепи.

*Степной класс.* К средообразующему геоморфологическому разнообразию поверхности отвалов с ПСП добавляется различная толщина (0–40 см) его нанесения, что определяет большую биотопическую мозаику, чем в лесной серии. Техногенный ПСП, хранившийся несколько лет в высоких отвалах, отличается высокой плотностью, отсутствием биологической активности и структуры, что по физическим свойствам не соответствует почвенному горизонту (Трефилова и др., 2014a). Структура насыпаемого ПСП меняется от пылевой на пионерной стадии до призматически-плотной на открытой и сохраняется на старых отвалах.

В колониях узкочерепной полевки *Microtus gregalis* Pallas и на экспериментальных участках с ежегодным фрезерованием насыпной слой приобретает естественное комковатое строение. Мезофауна, являясь одним из почвенных биологических индикаторов, представлена только в верхнем слое (0–5 см) ПСП и наименее развита из всех компонентов биоценоза относительно фона (Гуров, Пономарева, 2013). В связи с этим сингенез насыпных почвогрунтов определяется первоначально физическими свойствами, затем фитоценозическими, чем и отличается от сукцессионных процессов на залежных землях. В. А. Андроханов и В. М. Курачев (2010) подчеркивают действие двух факторов гомогенизации пород: рельефа и литологии. При этом технологически первый устраняется достаточно легко планировкой отвалов, а второй требует их селективной отсыпки и действует длительное время.

Нанесение ПСП и его первоначально рыхлое, минерализованное состояние с большим содержанием азота провоцируют мощное разрастание сорных травянистых растений с мелкими семенами и стержневыми корнями, что характеризует пионерную стадию. Через 4–5 лет происходит смена сорного разнотравья на злаки





**Рис. 1.** Сорная растительность пионерной стадии (а) и злаковая – простой (б) на отвале с ПСП на постоянной ПП. Второй (а) и девятый (б) годы после формирования отвала.

и наступает простая, монодоминантная стадия сингенеза (рис. 1). Формирование этой стадии сопровождается накоплением большого количества корневищ в верхней части подземного слоя и ветоши в надземном, что биоценотически препятствует формированию мозаичного фитоценоза. Только на колониях узкочерепной полевки, которая разрыхляет ПСП на глубину до 50 см и минерализует поверхность, создаются благоприятные условия для сохранения фрагментов сорной растительности. Выжигание на стадии перехода сорной растительности в злаковую не оказывает влияния на скорость стадийной смены фитоценозов.

Устойчивость простой стадии нарушается эндогенной привлекательностью кормовых и защитных условий, приводящей к росту пастбищной и роющей деятельности грызунов, накоплению горючих материалов (Трефилова и др., 2014б). Третья (открытая) стадия определяется по четкой групповой дифференциации травянистых монодоминантных микроассоциаций фитоценоза (Ефимов, Шишкин, 2014). Несмотря на небольшие размеры ассоциаций, эта мозаичность проявляется у всех анализируемых компонентов ценоза (беспозвоночных, мелких млекопитающих) и связана с разной высотой отсыпки ПСП.

Причина наступления четвертой (закрытой) стадии связана с усилением биоценологических факторов формирования сообществ. Признаки наступления и восстановления зональной нормы проявляются в ярусности сообществ и образовании сложных фитоценозов, а также в окончании доминирования донника желтого и его массового размножения. Периодические (через 5–6 лет) пожары ускоряют процесс формирова-

ния зональной растительности и придают цикличность всему биоценотическому комплексу. Они участвуют в перераспределении семенных и корневищных растений, а также в деструкции опада.

В результате анализа разнообразия формирования биоценозов на отвалах горных пород Бородинского разреза предложены три иерархических уровня классификации техногенных поверхностей, критерии их выделения, показатели и признаки динамического состояния (см. табл. 2).

Класс (эрозионный, лесной, степной) отражает техногенные условия и направление сингенеза в связи с особенностями технологии формирования отвалов, группа типов – биоценологические процессы сукцессионных серий на однородной геоморфологической поверхности (выпуклой, вогнутой, склоновой), а тип – сукцессионную стадию, однородный биоценологический комплекс на отрезке времени. Ниже приведены структура признаков, необходимая для выделения объектов мониторинга (табл. 3), и пример такого выделения (табл. 4). Классы имеют собственные характеристики, группы типов рекультивированных отвалов и типы – общие.

**Норильский промышленный район.** Техногенное воздействие связано с агрессивностью и интенсивностью действия поллютантов металлургического производства цветных металлов, которые определяют направление формирования посттехногенных экосистем и сукцессии их развития. Для организации исследований территория вначале зонирована с выделением классов по степени техногенного нарушения исходного фитоценоза (рис. 2). Геоморфологическое строение внутри зон опре-

**Таблица 3.** Схема соответствия уровней классификации критериям, показателям и динамическому состоянию горных отвалов

Уровень классификации	Критерий выделения уровня	Показатель критерия	Динамическое состояние
Класс	Вид техногенной территории (карьеры, водоемы, отстойники, отвалы)	(Не)рекультивированные отвалы, без ПСП, с ПСП	Сукцессионные серии (эрозионная, лесная, степная)
Группа типов	Форма, структура (конусовидные, «хребтовые», выровненные, мелкобугристые, однородные, мозаичные)	Выпуклые, вогнутые, склоновые поверхности	Сукцессионные серии (эрозионная, березовая, сосновая, степная, луговая и др.)
Тип	Однородность почвенно-грунтовых и микроклиматических условий; однородность фито- и зооценозов	Видовой состав; продуктивность, прирост. Сезонные колебания доминирования растительности и динамики численности животных	Сукцессионные стадии (пионерная, простая, сложная, закрытая)

**Таблица 4.** Пример выделения объектов мониторинга горных отвалов по классам (технологии рекультивации), группам типов (сукцессионным сериям) и типам (сукцессионным стадиям)

Класс	Группа типов	Тип
Без рекультивации, склоны рекультивированных отвалов	Эрозионная	Пионерная стадия, простая, сложная, закрытая
Без ПСП	Лесная	
С ПСП	Степная	

деляет разнообразие сукцессионных серий, отличающихся видовым составом, продуктивностью и скоростью эндогенных процессов. Проявление пирогенного фактора, корректирующего сукцессионные процессы, в северных широтах связано с климатическими колебаниями, а не с накоплением горючего материала, как в более южных широтах.

По результатам дешифрирования космических снимков в НПР выделяются пять экологических зон различной площади: производственно-жилая, техногенная (аэрогенная) пустошь, зоны сильного (техногенная экосистема), умеренного и слабого техногенного воздействия (табл. 5).

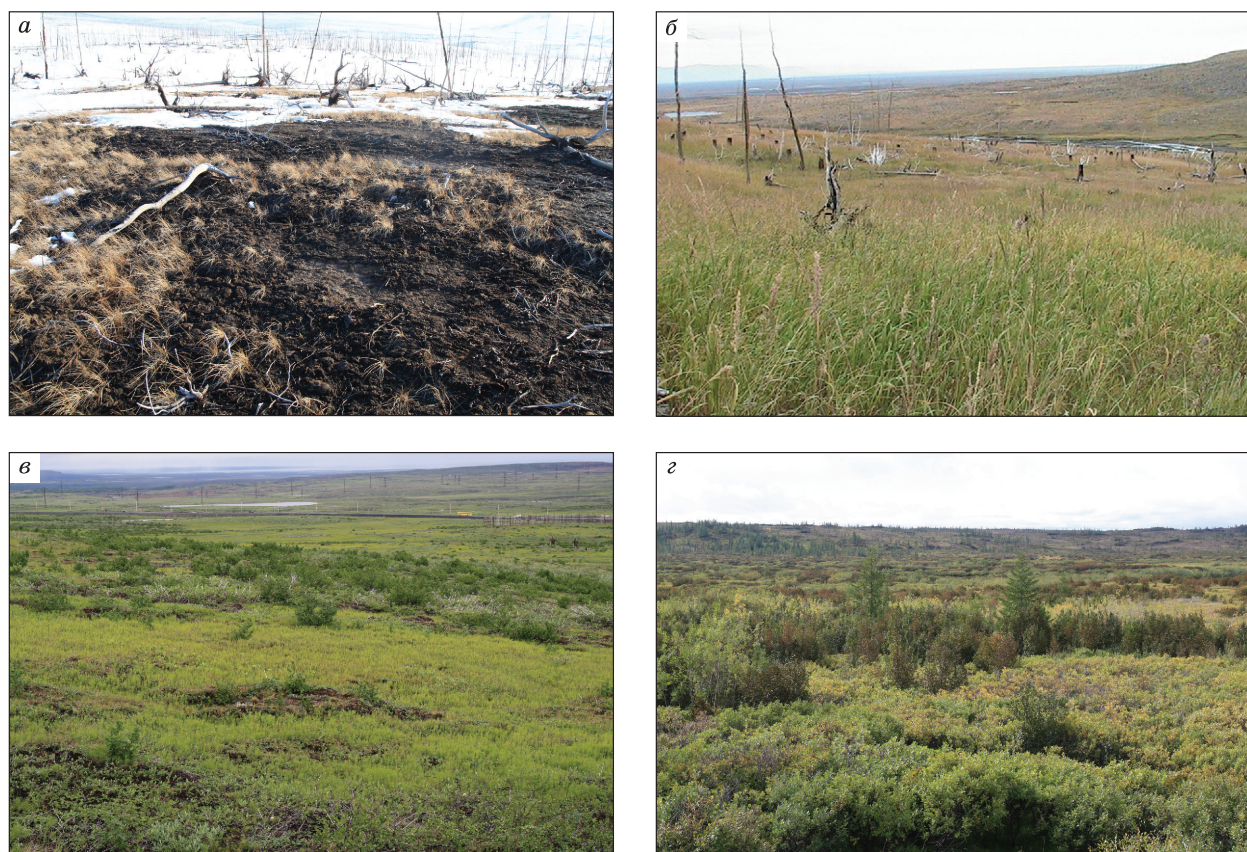
**Таблица 5.** Зонирование территории Норильского промышленного района по техногенному воздействию

Экологическая зона	Площадь	
	тыс. га	доля, %
Производственно-жилая	15.5	0.64
Техно(аэро)генная пустошь (ТП)	28.9	1.19
Техногенная экосистема (ТЭ)	18.1	0.75
Умеренного воздействия (УВ)	209.9	8.66
Слабого воздействия (СВ)	2152.6	88.76
Итого	2425.0	100.00

Для НПР выделено четыре класса техногенных экосистем, отличающихся степенью интенсивности техногенного воздействия (Шишкин и др., 2014). Образование аэрогенной пустоши связано с постоянным действием агрессивных выбросов высокой концентрации с очень сильным угнетением живых организмов. В ней отмечается низкое проективное покрытие травянистой растительностью и отсутствие постоянного населения животных. В связи с этим биоценологические связи слабо представлены, а сукцессионные процессы в значительной степени заторможены.

В зоне сильного постоянного техногенного воздействия выбросов формируется техногенная экосистема, не имеющая природных аналогов, с коротким (3–5 лет) циклом первичной сукцессии и двумя вариантами техногенных поверхностей. Поверхности с мортмассой прежнего напочвенного покрова и кустарников могут долго сохранять постоянные условия мерзлых грунтов и препятствовать образованию зональных вариантов техногенной растительности. В настоящее время более 2/3 территории с погибшей растительностью в течение полувека находятся в стабильно мертвом состоянии. Удаление (пирогенное, механическое) мортмассы





**Рис. 2.** Зоны и индикаторы степени нарушенности в НПП.

*а* – очень сильного поражения (аэрогенная пустошь), индикаторы – почвогрунт, погибший древостой; *б* – сильного воздействия (техногенная экосистема), индикаторы – травянистый напочвенный покров, кустарники, погибший древостой; *в* – умеренного воздействия, индикаторы – смешанный мохово-лишайниково-травянистый напочвенный покров, кустарники; *г* – слабого воздействия, индикаторы – кустарники, древостой.

способствует протаиванию грунтов до 1 м и приводит к образованию на выпуклых поверхностях злаковой растительности, а при достаточном увлажнении в понижениях формируется типичная мелкотравная тундра долин (табл. 6). Животное население в наибольшей степени изменчиво, но имеет все признаки (видовой состав, продуктивность, динамику численности) техногенного ценоза.

В зоне умеренного техногенного воздействия сохраняются кустарники, заносимые снегом, и отдельные деревья в оптимальных условиях произрастания с преобладанием травянистого покрова. Растительность имеет смешанные техногенно-природные признаки пространствен-

ной мозаичной контрастности с фрагментами сильного поражения и изменения только состава фитоценозов. Мозаичность связана с геоморфологической приуроченностью к выровненным поверхностям плакоров или террас мощных отложений торфа, находящихся в стабильно деградирующем (развеваемом) состоянии, а к дренированным – залесенных склонов, закустаренных долин и травянистых пойм. При усилении воздействия выбросов увеличивается отпад древесных растений, при уменьшении – восстанавливается мохово-лишайниковый покров.

При слабом воздействии наблюдается фрагментарное изменение напочвенного покрова с локальным разрастанием злаков под кронами

**Таблица 6.** Распределение фито- и зоомассы в тестовых местообитаниях (долинах) экологических зон

Зона	Фитомасса, г/м <sup>2</sup>		Зоомасса, г/га	
	мхов, лишайников	травянистых растений	мелких млекопитающих	охотничьих видов
ТЭ	0	251.9	6311.4	108.0
УВ	0	231.1	4727.0	106.6
СВ	241.4	190.2	2807.6	771.5

**Таблица 7.** Схема соответствия уровней классификации критериям, показателям и их динамическому состоянию для НПР

Уровень классификации	Критерий выделения уровня	Показатель критерия	Динамическое состояние экосистемы
Класс	Интенсивность поражения по зонам	Степень угнетения типов растительности	Изменение интенсивности и направления выбросов
Группа типов	Геоморфологическое строение, ландшафтная структура	Выпуклые, вогнутые, склоновые поверхности, долины, поймы; структура однородная, мозаичная	Криогенные эрозийные и пирогенные процессы
Тип	Функциональная биотическая однородность	Видовой состав, продуктивность, динамика	Пионерная, простая, сложная, закрытая

**Таблица 8.** Пример выделения объектов мониторинга НПР по классам (зонам), группам типов (сукцессионным сериям) и типам (сукцессионным стадиям)

Класс	Группа типов	Тип
ТП	Эрозионная	Пионерный
ТЭ	Травянистая и кустарниковая	Простой и открытый
УВ	Травянистая, кустарниковая и лесная	Сложный и закрытый
СВ	Кустарниковая и лесная, пирогенные серии	Пионерный, простой, сложный, закрытый

погибших деревьев. На территории НПР преобладает зона слабого техногенного воздействия (89 %) с сохранением мерзлоты. При условии снижения выбросов экосистемы смогут восстановить исходное ненарушенное состояние через 20–30 лет (срок формирования мохово-лишайникового покрова).

Группы типов биоценозов и сукцессионные серии выделяются по четырем геоморфологическим поверхностям: выровненные участки с застойным увлажнением и развитием мерзлоты; дренированные склоны; долины на легких почвах и ежегодно промываемые поймы, где в большей степени накапливается перенесенный метелями снег и образуются наледи (табл. 7, 8). Эти группы разделяются по устойчивости к выбросам, которая зависит от продолжительности экспонирования под агрессивной средой, скорости очищения загрязненной территории и благоприятности условий обитания.

Менее устойчивы ровные и выпуклые участки, на которых максимально проявляются негативные природные условия и комплексное аэрогенное и эдафическое (накопление загрязнителей) воздействие выбросов. Пойменные комплексы и растительность узких врезанных долин обладают устойчивостью в связи с благоприятными экологическими условиями для роста растений и промывным режимом. Для зоны сильного поражения и участков с погибшим аборигенным напочвенным покровом дополнительно выделяют территории с сохранив-

шейся мортмассой и без нее. Типы биотопов и сукцессионные стадии определяют по состоянию живого напочвенного покрова (составу и проективному покрытию): мертвопокровный – пионерная стадия, злаковый – простая, разнотравный – сложная, мохово-лишайниково-ягодный – закрытая. В настоящее время открытая стадия не выделяется, поскольку ландшафты испытывают длительное техногенное воздействие и состояние экосистем стабилизировалось.

**Водохранилища ГЭС.** Наиболее значимые техногенные факторы ГЭС – режим накопления и понижения уровня воды в водохранилище. По этим признакам выделяют две категории водохранилищ, принципиально отличающиеся между собой.

Для Енисейского каскада ГЭС характерны большие перепады (до 30 м), высокая зависимость от количества осадков, выпадающих в течение года на водосборной поверхности (Вышегородцев и др., 2005). В результате наполнение до верхнего уровня продолжается в весенне-летний период, что не характерно для естественного гидрологического режима пойм рек. Поэтому после понижения уровня енисейских водохранилищ в результате сезонной сработки формируется специфический, значительно уступающий по продуктивности пойменному комплексу береговой (пляжный) пояс.

Ангарский каскад ГЭС в связи с постоянством уровня оз. Байкал отличается стабильным уровнем водохранилищ. Северные водохрани-



**Таблица 9.** Схема соответствия уровней классификации критериям, показателям и их динамическому состоянию акватории водохранилищ

Уровень классификации	Критерий выделения уровня	Показатель критерия	Динамическое состояние
Класс	Открытость, глубина, проточность	Открытая–закрытая, глубокая–мелкая, проточная–непроточная акватория	Этапы заполнения, формирования и стабилизации уровня водохранилища, его годовые изменения
Группа типов	Гидрологический режим	Сукцессионные серии, обусловленные физико-химическими различиями условий обитания гидробионтов	Открытые (закрытые), глубокие (мелкие), проточные (не проточные)
Тип	Однородность гидрологических и донных условий	Видовой состав гидробионтов, их продуктивность и сезонная динамика	Стадии (пионерная, простая, сложная, закрытая)

лища Курейской и Хантайской ГЭС расположены в зоне вечной мерзлоты и заполняются весной в период разрушения льда и таяния твердых осадков. Небольшое количество летних осадков незначительно меняет уровень водохранилищ в период вегетации. В обоих случаях формируется прибрежная растительность, аналогичная озерному типу пойм.

Природными факторами, определяющими формирование биоценозов водохранилищ, служат водная и ветровая эрозии, опущенная инсоляция, конфигурация и глубина прибрежной полосы, а также характеристика донных отложений мелководий. Наиболее детально классификацией водохранилищ в европейской части России занимались И. Д. Голубева (1969), А. Г. Емельянов (1975), И. Л. Корелякова (1977), О. А. Тихомиров (1986). Основное внимание уделялось разделению мелко- и глубоководной частей, гидродинамическому воздействию, характеристике затопляемых почвенных образований и процессу формирования донных отложений. На основе большого ботанического материала определено понятие мелководья (до 2 м глубины) как горизонта воды, в котором проходят основные фитоценотические процессы.

В Сибири для Усть-Илимского водохранилища предложена классификационная схема с учетом влияния трех факторов: затопления, подтопления и микроклиматического воздействия. Для каждого фактора по трем градациям (сильное, среднее, слабое) проведена детализация трансформации растительности по степени воздействия водохранилища (Ефимов, 2011).

Результаты дешифрирования космических снимков ложа проектируемых водохранилищ, расположенных в лесотундре (Нижне-Курейское), средней (Эвенкийское) и южной тайге

(Богучанское), позволяют с учетом географических особенностей выявить и прогнозировать общие закономерности организации их акваторий и ландшафтной структуры наземной территории. Классификационная схема воздействия водохранилищ ГЭС по мере значимости факторов и их пространственного проявления имеет по три уровня иерархии для водной и береговой поверхностей. Акватория водохранилища классифицируется по ширине, направлению господствующих ветров (открытая, закрытая), глубине (глубоко- и мелководная) и проточности (табл. 9).

Первый уровень классификации акватории водохранилища (класс) отражает его техногенные структурные особенности и влияние на прибрежные сообщества, определяя техногенные причины пространственного размещения сукцессионных серий и их стадий. Например, открытые (широкие) и, как правило, наиболее глубокие части водохранилища с сильным гидродинамическим воздействием наименее продуктивны для формирования фито- и зоомассы. Центральная часть акватории может использоваться только как безопасное от преследования место и кормовое пространство для чаек и рыбоядных уток. Степень открытости определяет ветровой режим и волнообразование, которые влияют на заиливание мелководий, формирование прибрежной водной и наземной растительности, а также характер береговой полосы, распределение и концентрацию плавника и сплавин торфа. Заливы с поперечником менее 300 м, расположенные перпендикулярно господствующим направлениям ветра, относятся к закрытым.

Второй уровень (группа типов) выделяется по разнообразию гидрологического режима водохранилища и условиям формирования

**Таблица 10.** Схема соответствия уровней классификации критериям, показателям и их динамическому состоянию береговой полосы водохранилищ

Уровень классификации	Критерий выделения уровня	Показатель критерия	Динамическое состояние
Класс	Переработка и подтопление береговой полосы, климатические изменения	Обрывистые, эрозионные и пологие берега, ширина акватории	Изменение уровня водохранилища
Группа типов	Условия произрастания растительности и обитания животных	Береговая полоса (пляжная), типы растительности и формации	Сукцессионные серии
Тип	Однородность геоморфологических и почвенно-грунтовых условий	Видовой состав компонентов биоценоза, их продуктивность и сезонная динамика	Стадии (пионерная, простая, сложная, закрытая)

**Таблица 11.** Пример выделения объектов мониторинга береговой полосы водохранилищ по классам (типам воздействия), группам типов (сукцессионным сериям) и типам (сукцессионным стадиям)

Класс	Группа типов	Тип
Берегопереработки Подтопления Климатический	Эрозионная Заболачивания Фитоценотическая	Пионерной и простой стадий Пионерной, простой, сложной и закрытой стадий Сложной и закрытой стадий

гидроценоза, который проходит определенное сукцессионное развитие. Мелководные части водохранилищ отличаются высокой продуктивностью фитопланктона и водной растительности, особенно если они защищены от внешней акватории островами и образуют «атолловую» систему, что характерно для Курейского и Хантайского водохранилищ с затоплением термокарстовых территорий. Это позволяет сохранять корневые зачатки растительности и накапливать водную фитомассу, что привлекает позвоночных животных и является местом их концентрации и размножения. Глубоководные участки мало пригодны для развития растительности, и здесь преимущества получают зоопланктон и рыбы, обитание которых более динамично и не столь концентрировано, как растительных гидробионтов. От проточности и скорости стокового течения зависят насыщение воды кислородом, развитие зоопланктона и ихтиофауна (Васильев и др., 2000; Попов и др., 2000).

Третий уровень (тип) выделяется по однородности гидрологических и донных условий обитания биоценоза с соответствующими показателями типичного видового состава, продуктивности и сезонной динамики, связанной с годичным наполнением и сработкой уровня водохранилища. Тип отражает только одну стадию первичной сукцессии, которая начинается с пионерной после стабилизации уровня водохранилища. Например, на Курейском водохранилище

мониторинговые участки выделены в мелководных закрытых заливах со стоящими засохшими деревьями и в карстовых понижениях с макрофитами.

Открытый класс представлен ветроударными абразивными берегами, заливами со сплавиными и пляжными берегами. Такой набор прибрежных местообитаний типичен для большинства водохранилищ, а их состояние зависит от длительности эксплуатации водоема.

Критерии выделения классов береговой полосы водохранилища связаны с формами его воздействия: берегопереработкой, подтоплением и климатическим влиянием (табл. 10, 11). Показателем формирования прибрежного типа растительности служит уклон береговой полосы, а степень воздействия определяется по состоянию подтопленной и вновь формирующейся растительности. Зона климатических изменений определяется шириной акватории, а опущенное влияние, связанное с изменением режима освещения, не превышает высоты дерева. Натурное выделение климатического класса прибрежной полосы и определение ее площади – наиболее сложный вопрос оценки воздействия водохранилища на биоценоз, требующий сочетания инструментальных измерений метеоданных и биотестирования.

Группа типов выделяется по однородности сукцессионных процессов и условиям формирования наземных прибрежных биоценозов.

Показателями служат состояние береговой полосы (пляжное, мертвопокровное), тип растительности (луговой, болотный, кустарниковый, лесной) и монодоминантные формации (сосновая, березовая и др.). Первоначальное динамическое состояние групп типов, как и на акватории, определяется скоростью заполнения ложа водохранилища и последующим прохождением первичных стадий.

Тип выделяется по однородности условий обитания наземных и околоводных организмов на определенной стадии первичной сукцессии. Показатели – общие для всех типов различных форм техногенного воздействия, как и динамическое состояние. Для целей мониторинга состояние береговой полосы и форма растительности объединялись по пяти признакам: минерализованный, травяной, болотный, кустарниковый и лесной. Они подразделяются по общепринятым тематическим показателям: минерализованный – каменистый, песчаный, илистый и т. п.; травянистый – горецовый, осоковый и т. п.; болотный – вахтовый, сфагновый, осочковый и т. п.; кустарниковый – ивняковый, ольховниковый и т. п.; лесной – по типам леса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Апробация разработанной системы организации и проведения комплексных исследований на трех контрастных формах антропогенной трансформации ландшафтов (горные работы, атмосферные выбросы, водохранилища ГЭС) различных природных зон (лесотундра, северная, средняя, южная тайга, лесостепь) продемонстрировала ее универсальность. Использованы разрозненные показатели техногенного воздействия, первичных посттехногенных сукцессий и их стадий для выработки единого методологического подхода к изучению антропогенных нарушений и прогнозированию их последствий. Все уровни классификационных схем заканчиваются общепринятыми тематическими характеристиками по специализированным направлениям: почвоведение, геоботаника, лесоведение, экология животных. Это обеспечивает интеграцию разработанной схемы и возможность экстраполяции традиционной информации по компонентам экосистемы на разнообразие техногенных форм воздействия с последующими вариантами прикладного использования (мониторинга, оценки ущерба, рекультивации, разработки нормативов и пр.).

Предложена трехуровневая классификационная схема, включающая интенсивность техногенного воздействия, пространственное и геоморфологическое положение (почвенно-грунтовое разнообразие), определяющие направление первичных сукцессионных процессов и стадии их прохождения. Следует отметить специфичность прохождения сукцессионных стадий при разовом воздействии (горные отвалы, вырубki), когда наблюдается последовательное прохождение всех стадий и обычно к 30–40 годам заканчивается процесс формирования замкнутой экосистемы с основными зональными признаками. Постоянное техногенное воздействие (поллютанты, водохранилища) нарушает последовательность восстановительных стадий, фиксируя их на пионерной или сложной техногенной. Закрытая стадия, характерная для фонового состояния, не может сформироваться в результате постоянного техногенного воздействия и приводит к формированию неустойчивых техногенных экосистем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андроханов В. А., Курачев В. М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2010. 224 с.
- Андроханов В. А., Куляпина Е. Д., Курачев В. М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
- Белов А. В., Лямкин В. Ф., Соколова Л. П. Картирование антропогенной нарушенности биоты Предбайкалья // География и природ. ресурсы. 2006. № 4. С. 108–115.
- Бессолицына Е. П. Развитие ландшафтно-экологических исследований почвенной биоты в геосистемах юга Восточной Сибири // География и природ. ресурсы. 2007. № 3. С. 133–138.
- Богородская А. В., Трефилова О. В., Шишкин А. С. Процессы первичного почвообразования в техногенных экосистемах на отвалах Бородинского бурого угольного месторождения (восточная часть КАТЭК) // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2014. № 382. С. 214–220.
- Большанник П. В., Игенбаева Н. О. Эколого-ландшафтное районирование Омского Прииртышья // География и природ. ресурсы. 2006. № 3. С. 37–41.
- Брагина П. С., Герасимова М. И. Почвообразовательные процессы на отвалах горнодобывающих предприятий (на примере юга Кемеров-

- ской области) // География и природ. ресурсы. 2014. № 1. С. 45–51.
- Бычков И. В., Максимова И. И., Кузнецова А. Н.* Правовое обеспечение государственного мониторинга Байкальской природной территории // География и природ. ресурсы. 2015. № 1. С. 55–61.
- Васильев О. Ф., Савкин В. М., Двуреченская С. Я., Тарасенко С. Я., Попов П. А., Хабидов А. Ш.* Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сиб. экол. журн. 2000. № 2. С. 149–163.
- Воронов А. Г.* Геоботаника. М., 1973. 383 с.
- Вышегородцев А. А., Космаков И. В., Ануфриева Т. Н., Кузнецова О. А.* Красноярское водохранилище. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2005. 212 с.
- Голубева И. Д.* О роли водной растительности в формировании прибрежных биогеоценозов водохранилищ // Вопросы формирования прибрежных биогеоценозов водохранилищ. М.: Наука, 1969. С. 9–25.
- Гуров А. В., Пономарева А. В.* Формирование почвенной мезофауны на разновозрастных отвалах Бородинского бурогоугольного разреза // Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование: сб. мат-лов Междунар. науч.-практ. конф. (10–15 июня 2013 г.). Новосибирск: Изд-во Окарина, 2013. С. 89–91.
- Гусев А. П.* Фитоиндикаторы трансформации природного ландшафта в зоне нефтедобычи (на примере юго-востока Белоруссии) // География и природ. ресурсы. 2008. № 2. С. 177–183.
- Давыдова Н. Д.* Техногенная геохимическая среда как фактор структурно-функциональной организации геосистем // География и природ. ресурсы. 2007. № 1. С. 126–132.
- Емельянов А. Г.* Влияние Иваньковского водохранилища на природу прилегающих территорий // Сборник статей под ред. А. Г. Емельянова. Калинин: Калининск. гос. ун-т, 1975. 92 с.
- Ефимов Д. Ю.* Флора экосистем Усть-Илимского водохранилища. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2011. 166 с.
- Ефимов Д. Ю., Шишкин А. С.* Растительный покров рекультивированных отвалов угольных разрезов Канской лесостепи // Изв. Самарск. науч. центра РАН. 2014. Т. 16. № 5. С. 190–195.
- Ефремов Ю. В., Базелюк А. А., Панов В. Д.* Антропогенное воздействие на озера Северного Кавказа // География и природ. ресурсы. 2012. № 1. С. 51–56.
- Зеньков И. В., Кирюшина Е. В., Коростовенко В. В.* Ресурсосберегающие технологии горнотехнической рекультивации земель на разрезах Канско-Ачинского угольного бассейна. Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2012. 269 с.
- Иванов В. А., Иванова Г. А.* Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2010. 164 с.
- Иванов П. В., Пан Л. Н.* Биогеохимический мониторинг // География и природ. ресурсы. 2007. № 2. С. 158–161.
- Калихман Т. П.* Экосистемы юга озера Байкал в процессе адаптации к антропогенному воздействию // География и природ. ресурсы. 2011. № 4. С. 55–61.
- Козырева Е. А., Рыбченко А. А., Хабидов А. Ш., Федорова Е. А.* Экзогенные геологические процессы в береговой зоне Красноярского водохранилища // География и природ. ресурсы. 2015. № 2. С. 83–90.
- Корелякова И. Л.* Растительность Кременчугского водохранилища. Киев: Наук. думка, 1977. 200 с.
- Космаков В. И.* Организация хозяйства в лесах, нарушенных золотодобычей. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2006. 135 с.
- Кузнецова О. В., Ельчининова О. А., Пузанов А. В.* Роль почв в устойчивости ландшафтов бассейна Телецкого озера к загрязнению тяжелыми металлами // География и природ. ресурсы. 2014. № 3. С. 48–52.
- Кузнецова Т. И., Бычков И. В., Батуев А. Р., Плюшин В. М., Ружников Г. М., Хмельнов А. Е.* Структурно-типологические характеристики и экологический потенциал геосистем Байкальского региона // География и природ. ресурсы. 2011. № 4. С. 20–29.
- Кузьменко Е. И.* Динамическая классификация геосистем для картографирования Ханты-Мансийского округа и прогнозирования экологических рисков в его нефтегазоносных районах // География и природ. ресурсы. 2006. № 4. С. 115–123.
- Кузьменко Е. И., Максютов Ш., Владимиров И. Н.* Использование ландшафтной карты для оценки продуктивности геосистем южной тайги Западной Сибири // География и природ. ресурсы. 2013. № 3. С. 143–151.
- Куприянов А. Н., Манаков Ю. А., Баранник Л. П.* Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2010. 160 с.
- Курачев В. М.* Теоретические и практические проблемы рекультивации нарушенных земель и современные способы их решения // Сиб. экол. журн. 1998. № 6. С. 509–515.
- Курачев В. М., Кандрашин Е. Р., Рагим-заде Ф. К.* Сингенетичность растительности и почв тех-



- ногенных ландшафтов: экологические аспекты, классификация // Сиб. экол. журн. 1994. № 3. С. 205–213.
- Кусковский В. С. Экологические изменения геологической среды под влиянием крупных водохранилищ Сибири // Сиб. экол. журн. 2000. № 2. С. 135–148.
- Лисецкий Ф. Н., Голусов П. В. Восстановление почв на антропогенно нарушенных поверхностях в подзоне южной тайги // География и природ. ресурсы. 2011. № 1. С. 46–52.
- Мазаева О. А., Козырева Е. А., Тржцинский Ю. Б. Оценка взаимодействия экзогенных процессов в локальных береговых геосистемах Братского водохранилища // География и природ. ресурсы. 2006. № 2. С. 81–86.
- Манакон Ю. А. Восстановление растительного покрова в техногенных ландшафтах Кузбасса: дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2012. 328 с.
- Маргеева Д. В. Методические подходы к проектированию рекультивационных работ с использованием инструментов ландшафтного планирования // География и природ. ресурсы. 2015. № 2. С. 183–187.
- Михайлова Т. А., Плешанов А. С., Афанасьева Л. В. Картографическая оценка загрязнения лесных экосистем Байкальской природной территории техногенными эмиссиями // География и природ. ресурсы. 2008. № 4. С. 18–23.
- Мурзакматов Р. Т., Шишкин А. С. Лесообразовательный процесс на отвалах Бородинского бурогоугольного разреза // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. № 1(41). С. 29–32.
- Мячина К. В. Анализ региональных экологических рисков (на примере Оренбургской области) // География и природ. ресурсы. 2012. № 2. С. 129–135.
- Назаров Н. Н. Переработка берегов равнинных водохранилищ России на современной стадии развития (конец XX – начало XXI в.) // География и природ. ресурсы. 2006. № 4. С. 12–19.
- Нечаева Е. Г., Давыдова Н. Д. Принципы изучения природной и техногенной динамики ландшафтов Сибири // География и природ. ресурсы. 2008. № 1. С. 41–49.
- Николаева Н. А. Прогноз гидрохимического состояния воды проектируемых водохранилищ ГЭС Южной Якутии // География и природ. ресурсы. 2010. № 3. С. 120–125.
- Перфильев С. Е. Технологии геосистемного и экологического картографирования агроландшафтов Центральной Сибири (Красноярский край) // География и природ. ресурсы. 2008. № 3. С. 127–133.
- Плешанов А. С., Плюснин В. М., Шаманова С. И., Сороковой А. А., Казановский С. Г., Верхозина А. В., Антонов И. А., Шеховцева И. Н., Каверзина А. С., Чернышева О. А. Реперная сеть для экологического мониторинга Байкальской природной территории // География и природ. ресурсы. 2012. № 1. С. 38–42.
- Попов П. А., Визер А. М., Упадышев Е. Э. Рыбы Новосибирского водохранилища // Сиб. экол. журн. 2000. № 2. С. 177–186.
- Пурдик Л. Н., Золотов Д. В., Балыкин С. Н. Структура и возможные изменения ландшафтов в зоне проектируемого водохранилища Эвенкийской ГЭС // География и природ. ресурсы. 2011. № 1. С. 79–85.
- Пучкин А. В. Картографирование антропогенной измененности ландшафтов // География и природ. ресурсы. 2007. № 4. С. 130–134.
- Рожков В. А. Классификация и классификация почв // Почвоведение. 2012. № 3. С. 259–269.
- Савкин В. М. Водоохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания // Сиб. экол. журн. 2000. № 2. С. 109–121.
- Семина И. С., Беланов И. П., Шипилова А. М., Андроханов В. А. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2013. 396 с.
- Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 320 с.
- Тихомиров О. А. Географические проблемы водохранилищ: учеб. пособие. Калинин: Калининск. гос. ун-т, 1986. 58 с.
- Трефилова О. В., Гродницкая И. Д., Ефимов Д. Ю. Динамика эколого-функциональных параметров реплантоземов на отвалах угольных разрезов Центральной Сибири // Почвоведение. 2014а. №1. С. 109–119.
- Трефилова О. В., Екимов Е. В., Шишкин А. С. Влияние узкочерепной полевки на свойства реплантоземов Канской лесостепи // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2014б. № 3 (27). С. 115–129.
- Фарбер С. К. Формирование древостоев Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 432 с.
- Фролов А. А. Геоинформационное картографирование изменчивости ландшафтов (на примере Южного Прибайкалья) // География и природ. ресурсы. 2015. № 1. С. 156–166.
- Чалов С. Р., Школьный Д. И., Промахова Е. В., Леман В. Н., Романченко А. О. Формирование стока наносов в районах разработки россыпных месторождений // География и природ. ресурсы. 2015. № 2. С. 22–30.

- Шергина О. В., Михайлова Т. А., Калугина О. В., Пройдакова О. А. Естественное восстановление почвенного и растительного покровов на промышленных отвалах // География и природ. ресурсы. 2015. № 2. С. 66–74.
- Шилов И. А. Экология: учебник для биол. и мед. спец. вузов. М.: Высш. школа, 1997. 512 с.
- Широкова Н. С. Влияние Иваньковского водохранилища на микроклимат побережья // Влияние Иваньковского водохранилища на природу прилегающих территорий. Калинин: Калининск. гос. ун-т, 1975. С. 81–90.
- Шишикин А. С. Классификация техногенных территорий // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 1(47). С. 142–148.
- Шишикин А. С. Организация биологического мониторинга на отвалах Бородинского разреза // Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование: сб. мат-лов Междунар. науч. конф., 10–15 июня 2013 г., Новосибирск. Новосибирск: Изд-во Окарина, 2013. С. 225–227.
- Шишикин А. С., Абаимов А. П., Онучин А. А. Методология и принципы организации исследований природных экосистем в регионах с экстремальным техногенным воздействием // Сиб. экол. журн. 2014. № 6. С. 863–871.
- Шишикин А. С., Екимов Е. В., Гуров А. В. Животные в техногенных ландшафтах // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., 4–6 октября 2011 г., Сургут. Сургут, 2011. С. 97–104.
- Шишикин А. С., Огнев Р. Ю. Освоение косулей заброшенных сельскохозяйственных угодий в Восточном Забайкалье // География и природ. ресурсы. № 3. 2013. С. 185–188.
- Шишикин А. С., Тимошкин В. Б. Оценка воздействия строительства Эвенкийской ГЭС на биоресурсы // Лесная таксация и лесоустройство. 2010. № 1(43). С. 165–176.

## ORGANIZATION OF RESEARCH OF TECHNOGENIC TERRITORIES

### A. S. Shishikin

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru

To conduct complex research, the system of classification of biological objects was developed and adapted for different nature conditions and forms of anthropogenic impacts. The experience of organization of biological investigations at coal mine dumps and gold-mining polygons, pollutant emissions, operating and developing hydropower station reservoirs was used in the work. The general structure of development of the classification schemes of anthropogenic lands is presented with three generalized specific levels distinguished. The form and intensity of the anthropogenic impacts were used for zoning. Spatial extrapolation and forecast of the anthropogenic impacts are made with respect to the geomorphological state and succession' dynamics of the anthropogenic habitats. Monitoring and resource estimation are carried out by the succession stages. Quantitative estimation of the structure of the anthropogenic lands is made with a use of moderate- and high- resolution satellite data in GIS. Types of mountain recultivations of coal mine dumps determine three post-anthropogenic succession series/classes: erosion, forest, and steppe. They are divided by groups of types depending on succession stage – from juvenile to closed corresponded to the zonal standards. The type shows stage that is determined by the dominant vegetation. For Norilsk anthropogenic region where there is constant pollutants impact, five classes/zones, four groups of types by geomorphological characteristics and two additional indicators which estimate the presence of dead ground vegetation as well as six types by dominant vegetation were defined. Classification scheme of the impact of hydropower station reservoirs is characterized by three levels of generalization for water and coast surfaces. The basin is divided by classes depending on the width and direction of the dominant winds (open, closed), groups of types depending on depth (deep-, shallow-water), types depending on flowage and stagnation. The coastline is divided by classes of constant marginal erosion, periodical impoundment and climate impact, group of types and types by well-known succession series and stages typical for the coast vegetation.

**Keywords:** *technogenic impact, classification, coal mine dumps, Norilsk industrial region, water reservoirs of hydropower stations.*

**How to cite:** *Shishikin A. S. Organization of research of technogenic territories // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2016. N. 2: 102–119 (in Russian with English abstract).*