

**Первичные сукцессии на карьерах как натурная модель  
для изучения процессов формирования наземных экосистем**

© 2014. О. И. Сумина, д.б.н., зав. кафедрой,  
Санкт-Петербургский государственный университет,  
e-mail: sumina@bio.spbu.ru

Карьеры стройматериалов – территории со сложным рельефом и набором разнообразных экотопов – удобная натурная модель для изучения процессов формирования растительного покрова в расчлененном ландшафте. В 2 карьерах лесотундры возрастом 3 и 30 лет картировали растительность в 1995, 1999, 2003 и 1999, 2003 гг. соответственно. Анализ 5 карт позволил выявить закономерности первичных сукцессий и создать модель развития растительности на экотопически гетерогенной территории. Основной тренд сукцессии – увеличение площади сообществ умеренно влажных местообитаний и стабилизация условий развивающейся растительностью.

Quarries for the building materials extraction as territories with complex relief and a set of various habitats are a good full-scale model for study of vegetation development processes within heterogeneous landscape. In 2 forest-tundra quarries, where recovering time was 3 and 30 years, vegetation mapping took place in 1995, 1999, 2003 (in the new quarry), and in 1999, 2003 (in the old one). The analyses of the obtained 5 maps allowed revealing the common features of primary successions and formulate the model of vegetation development on heterogeneous territory, where different habitats are adjacent. The main trend of succession is the increasing of areas occupied by communities of moderate moistening habitats, and the environment stabilization by the plant cover.

**Ключевые слова:** регенерация экосистем, первичные сукцессии, динамика растительности, карьеры, модель первичной сукцессии, прогноз восстановления растительности, Крайний Север

**Keywords:** ecosystems regeneration, primary successions, vegetation dynamics, quarries, model of primary succession, vegetation recovery prediction, Far North

В условиях усиливающегося антропогенного пресса растёт значение фундаментальных исследований регенеративной функции биосферы, особенно в районах Крайнего Севера, играющих важную роль в её саморегуляции. Лёгкая ранимость и замедленная регенерация северных экосистем усиливают актуальность изучения их восстановления после нарушений. Особенно важны исследования реакции растительности, так как она одновременно служит индикатором и степени нарушения, и регенеративного потенциала экосистемы, т.е. интегральным показателем общего состояния экосистемы и протекающих в ней динамических процессов.

Удобным объектом для выяснения закономерностей стартового этапа формирования наземных экосистем и процессов освоения растительностью свободных территорий могут служить зарастающие карьеры строительных материалов. По сравнению с другими объектами, традиционно используемыми для изучения первичных сукцессий (вулканические лавы, приледниковые территории, карьеры

для добычи полезных ископаемых, отвалы пустой породы), они наиболее близко воспроизводят естественные условия среды, так как не обладают субстратами специфического химического состава (нередко токсичными) и не испытывают влияния холодных вод тающих ледников.

Наиболее точные сведения об изменениях растительного компонента экосистем дают прямые долгосрочные наблюдения. Как правило, их проводят на ключевых участках, размещённых в пределах одного сообщества и обладающих определённой экотопической однородностью. Однако в природе соседствуют различные местообитания, зачастую контрастные по условиям, и это не может не сказываться на сукцессионных процессах, протекающих в них.

Каждый карьер – это гетерогенная территория со сложным рельефом поверхности и набором разнообразных экотопов (рис. 1). Неоднородность среды усугубляется тем, что грунты в карьерах как по своей геологической природе, так и вследствие проводившихся

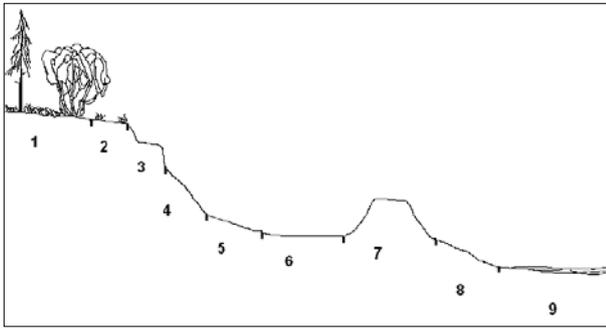


Рис. 1. Разнообразие экотопов карьера

Обозначения: 1 – ненарушенное сообщество, 2 – периферийная часть с фрагментами нарушенной растительной дернины, 3 – ступени на склонах бортов, 4 – крутые склоны, 5 – намывы грунта под склонами, 6 – ровные поверхности днища, 7 – останцы и кучи грунта, 8 – пологие склоны, 9 – водоёмы.

работ часто оказываются смешанными (щебень с прослоями суглинка, песок с примесью гальки и т. п.). Таким образом, самозаращение карьеров, воспроизводящее процесс становления экосистем на свободных минеральных субстратах, может служить натурной аналоговой моделью формирования растительного покрова в пределах расчленённого ландшафта.

Цель наших исследований – выяснить закономерности первичных сукцессий растительности на экотопически гетерогенной территории. Задачи: 1) провести прямые долгосрочные наблюдения за восстановлением растительности на карьерах путём периодического сплошного картирования их растительного покрова, 2) проанализировать динамику растительности и выявить тренды восстановительной сукцессии.

В качестве объекта избраны два разновозрастных песчано-супесчаных карьера лесотундры (г. Лабытнанги Ямало-Ненецкого АО). «Новый» карьер существует с 1991 г. и к началу наблюдений (1994 г.) зарастал три года. На «старом» исследования были начаты в 1998 г., к этому времени зарастание длилось 30 лет. Карьеры площадью 1,3 и 0,8 га соответственно расположены в 7 км друг от друга. Оба возникли на месте берёзово-лиственничных кустарничково-лишайниково-моховых редин.

Для анализа отобраны материалы картирования 1995, 1999, 2003 гг. для нового карьера и 1999, 2003 гг. – для старого. Для пяти картосхем растительности составлена единая легенда, включившая 85 номеров [1]. Контуры в ней сгруппированы по увлажнению (растительность сырых, контрастно влажных, умеренно влажных и сухих местообитаний). В

пределах каждой группы с учётом жизненных форм видов, играющих важную роль в формирующихся сообществах, выделены типы контуров: сообщества трав, сообщества трав с проростками ив, сообщества с преобладанием ив, сообщества с древесным подростом и пр. Так удаётся отразить особенности разных этапов заселения свободных субстратов. При создании картосхем использована программа MapInfo, что позволило оценить в процентах относительную площадь всех выделенных контуров.

В зависимости от приёмов разработки карьера часть его площади (5–15%) может быть занята сообществами, развивающимися там, где сохранились фрагменты старой растительной дернины. На таких участках складываются наиболее благоприятные условия для формирования растительного покрова: общее покрытие достигает здесь 75–90% уже через 3–4 года после окончания эксплуатации карьера. Однако восстановление в этом случае идёт по типу вторичной сукцессии, поэтому в дальнейший анализ такие участки не включены.

Сравнение растительности нового и старого карьеров (табл.) показало, что в них сообщества водоёмов и обсыхающих луж занимают примерно одинаковую площадь (5–8%). Мало различаются и территории, занятые растительностью сухих экотопов, на которые в каждом карьере приходится 20–25%. Заселение сухих участков на «новом» карьере активно шло в 1995–1999 гг.: за 4 года площадь под растительностью здесь увеличилась в 20 раз, но в дальнейшем мало менялась. Площадь сообществ, приуроченных к участкам с контрастным режимом увлажнения (относительно сухие экотопы с временным избыточным увлажнением после дождей и таяния снега), на новом карьере с 1995-го по 1999 г. увеличилась вдвое и в 2003 г. превысила 25%. На старом карьере такая растительность занимает около 15% территории. Наибольшие различия между карьерами выявляются по растительности умеренно влажных экотопов. На «старом» карьере она занимает более 50% площади. На «новом» карьере за первые 4 года наблюдений её площадь выросла до 22%, но в 2003 г. составила 16%. Таким образом, растительность местообитаний с контрастным режимом увлажнения больше представлена на «новом» карьере, а умеренно влажных – на «старом».

Данные о зарастании разновозрастных карьеров позволяют проследить последо-

Таблица

Площадь растительности различных экотопов в разновозрастных карьерах

Карьер	Новый			Старый	
	1995	1999	2003	1999	2003
Год наблюдений	4	8	12	31	35
Время зарастания, лет	4	8	12	31	35
Участки незадернованного грунта	59,5	1,1	-	-	-
Водоёмы и лужи (открытое зеркало воды)	7,9	5,3	-	-	-
Свалки мусора	-	3,4	4,9	-	-
Дороги	2,2	3,6	4,5	-	-
<b>Площадь, занятая растительностью</b>	<b>30,4</b>	<b>86,6</b>	<b>90,6</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>в том числе:</b>					
<i>Сообщества водных и околоводных экотопов:</i>	-	5,4	8,2	5,6	5,0
сообщества влаголюбивых трав	-	5,4	8,2	5,6	5,0
<i>Сообщества контрастно влажных экотопов:</i>	<b>11,5</b>	<b>23,6</b>	<b>26,3</b>	<b>14,8</b>	<b>16,7</b>
сообщества трав	1,6	14,8	7,8	0,4	0,6
сообщества трав с участием мхов	0,9	0,8	2,5	3,8	2,2
сообщества с участием ив	9,0	2,1	3,7	10,6	13,9
сообщества с доминированием ив	-	5,9	12,3	-	-
<i>Сообщества умеренно влажных экотопов:</i>	<b>7,9</b>	<b>21,7</b>	<b>15,7</b>	<b>52,1</b>	<b>55,6</b>
сообщества трав	3,3	-	0,1	-	-
сообщества трав с участием мхов	-	-	-	5,1	3,3
сообщества с участием ив	2,5	4,9	-	7,5	5,1
сообщества с доминированием ив	-	13,3	14,4	22,5	8,0
сообщества с участием ольховника, лиственницы и берёзы	2,1	3,5	1,2	0,5	2,0
сообщества с участием лишайников и подроста деревьев	-	-	-	16,5	37,2
<i>Сообщества сухих экотопов:</i>	<b>1,2</b>	<b>21,1</b>	<b>23,9</b>	<b>23,5</b>	<b>17,9</b>
сообщества трав	1,2	17,4	11,6	8,9	6,6
сообщества с участием ольховника, лиственницы и берёзы	-	3,7	12,3	-	-
сообщества с участием лишайников	-	-	-	14,6	11,3
<i>Сообщества участков с фрагментами старой дернины</i>	<b>9,8</b>	<b>14,8</b>	<b>16,5</b>	<b>4,0</b>	<b>4,8</b>

Примечание: указан % от площади карьера.

вательные этапы первичной сукцессии на неоднородной территории со сложным рельефом поверхности. Происходит постепенное смыкание растительного покрова, увеличиваются значения его общего проективного покрытия (рис. 2). Во многих сообществах начинают доминировать кустарниковые ивы, появляется подрост древесных пород, в напочвенном покрове возрастает покрытие мхов и лишайников (табл.). Уменьшается число мелких контуров: площади сообществ увеличиваются, при этом все крупные контуры – это ценозы продвинутых стадий сукцессии. Со временем благодаря эрозии поверхность карьера выполаживается (положительные формы разрушаются, а отрицательные заполняются перемещаемым материалом), что способствует выравниванию условий увлажнения. Параллельно идёт изменение состава доминирующих видов, смыкание сообществ, усложнение их пространственной структуры, что сопровождается формированием более устойчивой фитосреды. Таким образом, основной тренд первичной сукцессии – увеличение площадей под растительностью умеренно влажных местообитаний за счёт уменьшения

площадей сухих и сырых экотопов, что связано с усилением воздействия растительности на условия абиотической среды (рис. 3).

Согласно нашим исследованиям [2], на данных карьерах, возникших на месте редин, взамен одного исходного сообщества можно прогнозировать восстановление и относительно долговременное существование редин, кустарниковых ивняков, зарослей ольховника и прибрежноводных ценозов. Таким образом, гетерогенность растительности на нарушенной территории увеличивается.

Полученные нами результаты позволили построить модель первичной сукцессии, протекающей на территории, обладающей экотопической неоднородностью [3]. Все разнообразие экотопов карьера сводится к пяти основным типам: 1 – автоморфные (элювиальные) экотопы верхней части склонов, где преобладают процессы выноса биофильных элементов; 2 – транзитные трансэлювиальные экотопы средней части склонов, где господствуют процессы миграции биофильных элементов; 3 – трансэлювиально-аккумулятивные экотопы подножий склонов с преобладанием аккумуляции биофильных элементов; 4 – аккумуля-

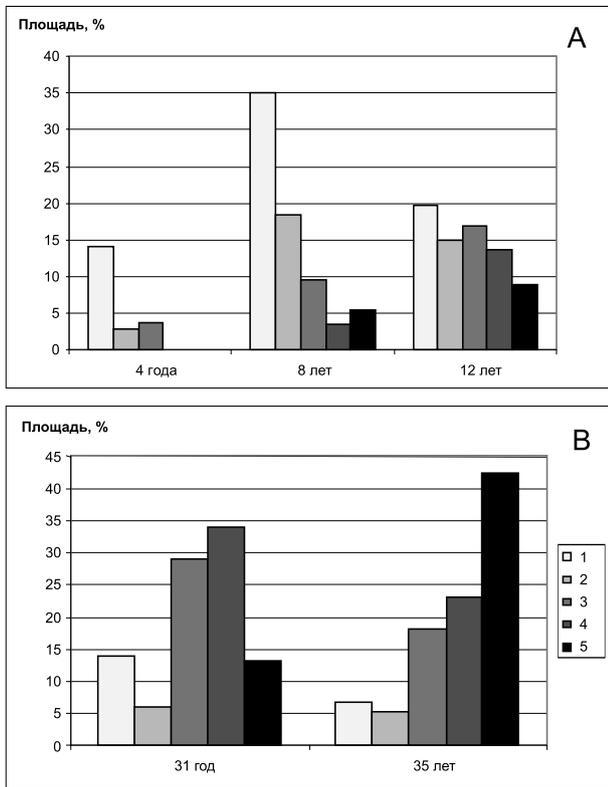


Рис. 2. Площадь (%) сообществ разной сомкнутости в «новом» (А) и «старом» (В) карьерах

Обозначения: 1 – общее покрытие растительности 1–15%, 2 – 16–30%, 3 – 31–50%, 4 – 51–70%, 5 – 71–100%.

тивные экотопы в ровной донной части карьера, где идёт накопление биофильных элементов; 5 – аккумулятивные экотопы водоёмов, в которых происходит аккумуляция веществ, сопровождающаяся снижением их концентрации в водной среде. От первого типа к последнему увеличиваются влажность, кислотность грунтов, доля тонкодисперсных фракций, количество биофильных элементов и трофность местообитаний. В предложенной схеме (рис. 4) последовательные этапы сукцессии выделены для карьера в целом, однако в разных экотопах они имеют разную длительность. Медленнее всего восстанавливается растительность в элювиальных местообитаниях (1), быстрее – в трансэлювиально-аккумулятивных и аккумулятивных (3 и 4), но раньше других устойчивые сообщества формируются в водоёмах (5). «Запаздывание» начала последовательных фаз сукцессии усиливается в ряду местообитаний: 5 → 4 и 3 → 2 → 1. Скорость сукцессионных процессов в разных экотопах различна и, кроме того, меняется со временем. Нулевой этап сукцессии везде одинаков, но уже на стартовом этапе проявляются различия местообитаний. Первый и второй этапы характеризуются высокой скоростью процессов восстановления растительности в зоне аккумуляции веществ. Третий этап сопровождается уменьшением различий между элювиальными

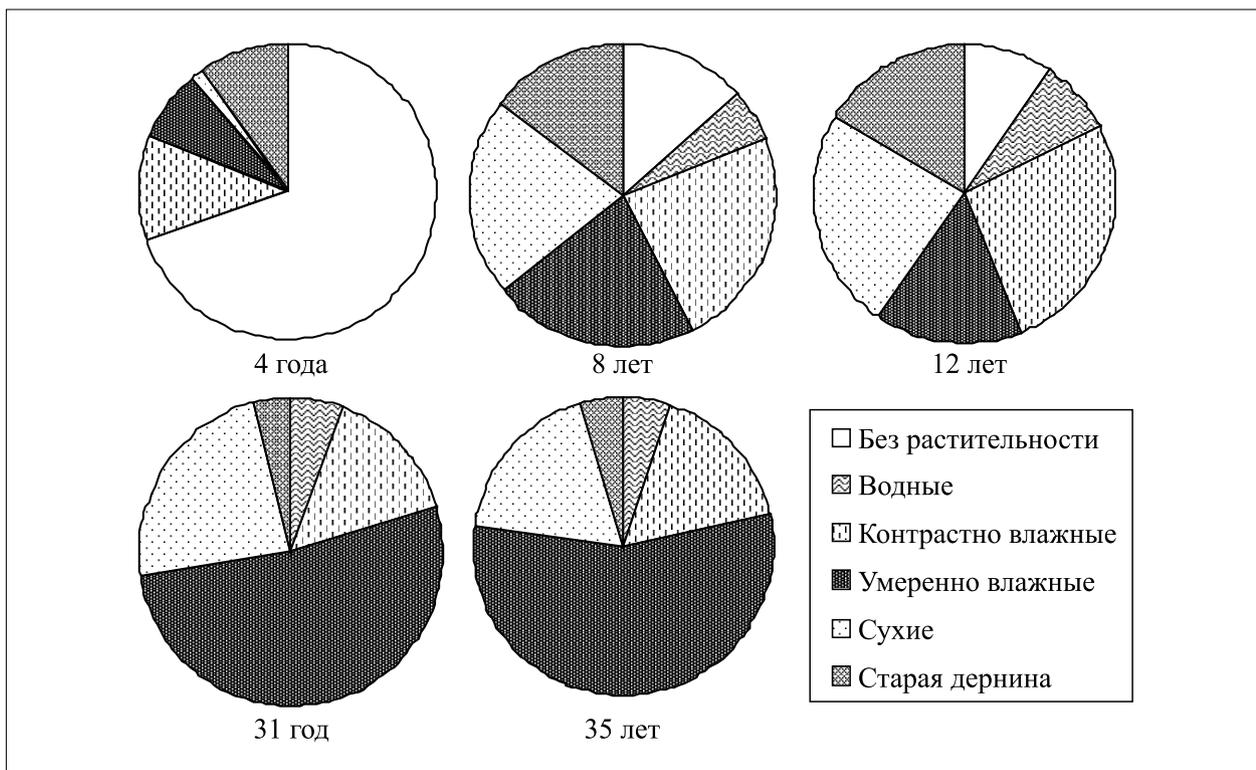


Рис. 3. Соотношение площадей растительности различных экотопов в «новом» и «старом» карьерах

Этапы первичной сукцессии	Типы экотопов карьера				
	1 верхняя часть склонов	2 середина склонов	3 подножье склонов	4 дно карьера	5 водоёмы
5. Финальный	О	Р	И	Р	Гиг
4. Завершающий	О	К-д	И	К-д	Гиг
3. Кустарниковый	Зл-к		И	И	Гиг
2. Злаковый	Т	Т	Зл-к	Зл-к	Гиг
1. Пионерный	П	П	Т	Т	П-гиг
0-1. Стартовый	—	—	П	П	—
0. Нулевой	—	—	—	—	—

Рис. 4. Схема смены сообществ в ходе первичной сукцессии на территории карьера

Обозначения:

— – растительность отсутствует; П – слабосомкнутые сообщества пионерных видов; П-гиг – слабосомкнутые сообщества влаголюбивых трав; Гиг – водные и прибрежноводные сообщества; Т – слабосомкнутые сообщества с плотнодерновинными травами и всходами кустарников; Зл-к – сообщества злаков с фрагментарным кустарниковым ярусом; И – кустарниковые ивняки (различные); О – заросли ольховника; К-д – сообщества с кустарниками и фрагментарным ярусом из подроста деревьев; Р – елово-березово-лиственничные редины (различные); 1–5 – типы экотопов (см. в тексте).

и транзитными экотопами. На четвёртом этапе скорости процессов заметно различаются только в элювиальных и аккумулятивных экотопах. На пятом, финальном этапе, когда сформированы устойчивые сообщества, и растительность контролирует миграцию биофильных элементов и микроклимат, различия местообитаний становятся наименее резкими. До финального этапа проходит длительное время (сотни лет), поэтому он может быть охарактеризован только гипотетически. Вероятно, в долгосрочной перспективе при отсутствии повторных нарушений вся территория бывшего карьера будет занята различными вариантами (от олиготрофных сухих до эвтрофных сырых) елово-берёзово-лиственничных кустарничково-лишайниково-моховых редин. Нельзя полностью отрицать и сохранение участков кустарниковых зарослей из ив и ольховника, а также водных и прибрежноводных сообществ.

Формирование растительного покрова рассмотрено нами на примере карьеров лесотундры, что позволяет с определённой осторожностью экстраполировать полученные результаты на северотаёжные территории и гипоарктические тундры, где процессы вос-

становления будут более длительными [4]. В зависимости от характера местной растительности динамические ряды сообществ могут быть разными, но общие закономерности заселения экотопически гетерогенной территории сохранятся. Реализуются ли эти тенденции в арктических тундрах – вопрос, требующий дальнейших исследований.

### Литература

1. Сумина О.И. Формирование растительности на свободных субстратах: итоги многолетних наблюдений за зарастанием двух песчаных карьеров в лесотундре Западной Сибири // Бот. журн. 2010. Т. 95. № 4. С. 562–580.
2. Сумина О.И., Бельдиман Л.Н. Зарастание карьеров лесотундры Западной Сибири: прогноз восстановительных сукцессий // Вестник СПбГУ. 2011. Сер. Биол. Вып. 2. С. 13–27.
3. Сумина О.И. Поливариантная модель первичной сукцессии растительности на экотопически гетерогенной территории (на примере карьеров лесотундры) // Успехи современного естествознания. 2012. 11(1). С. 112–116.
4. Сумина О.И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. СПб.: Информ-Навигатор, 2013. 340 с.