

УДК 631.41: 631.432

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

А. А. Пугачев, Е. А. Тихменев

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: apugachev@ibpn.ru, etikhmenev@north-east.ru

Рассматриваются особенности естественного восстановления почвенно-растительного покрова в горнопромышленных ландшафтах тундровой, лесотундровой и северотаежной зонах Крайнего Севера-Востока. Обсуждаются данные по запасам фитомассы, физико-химическим и органо-геохимическим особенностям почв и грунтов на различных формах нарушенных ландшафтов. Рассматриваются проблемы восстановления природной ценности нарушенных земель.

Ключевые слова: растительность, почвы, биомасса, сукцессии, техногенный ландшафт, восстановление.

Изучение особенностей организации, функционирования и эволюции регенерационных экосистем является теоретической основой для определения направлений и разработки технологий восстановления нарушенных земель. Сравнительное изучение нарушенных и естественных экосистем дает возможность оценить направленность процессов регенерации почвенно-растительных комплексов и их особенностей в различных природно-климатических условиях. В частности, изучение качественного состава гумуса – надежный критерий хода почвообразовательного процесса (Волбуев, 1963). Определение запасов и структуры растительной массы пионерных сообществ особенно важно для выявления их роли в качестве стабилизирующего фактора экзогенных процессов (Гречищев и др., 1980) и выбора направлений проведения рекультивационных работ (Пугачев, 2001; Пугачев и др., 2004; Тихменев, Тихменев, 2003). Поселяясь на денудированных участках, растения становятся центром сосредоточения активной жизнедеятельности почвенной микрофлоры, стимулирующей генезис почв и дальнейшее развитие растительных группировок.

Естественное восстановление растительного покрова. Большое разнообразие условий для поселения пионерных растений, складывающихся в техногенных ландшафтах, находит свое отражение в структурно-функциональных особенностях и продуктивности растительных комплексов. В частности, интервал изменения содержания мелкозема составляет на нарушенных землях от 14 до 44%, а характер сукцессионных процессов – от полного отсутствия поселившихся растений до сформировавшихся пионерных фитоценозов уже спустя

пять лет после снятия техногенной нагрузки. Основная роль в процессах естественного восстановления почвенно-растительных комплексов принадлежит накоплению мелкозема, водному режиму техногенных образований и удаленности нарушенных земель от природных растительных сообществ как источников «семенного дождя», т. е. интенсивности нанося семян (Пугачев, Тихменев, 2005).

Тундровая зона. Как показали исследования, в тундровой зоне на отвалах вскрышных пород наибольший запас фитомассы формируют злаки *Arctagrostis latifolia* – до 260 г/м², *Deschampsia borealis* – до 100 г/м² и *Poa arctica* – до 65 г/м². Анализ данных по запасам подземной фитомассы (табл. 1) свидетельствует о том, что верхние 10 см профиля техногенных элювиев содержат 56%, на глубине 20 см – 89%, в нижележащих слоях лишь 11% корней. Следовательно, интенсификация процесса самовосстановления почвенно-растительного покрова на нарушенных участках может быть достигнута посредством формирования 20–25-сантиметрового потенциально плодородного слоя на поверхности денудированных участков. На выведенных из тех-

Таблица 1. Распределение корней в профиле почво-грунтов пионерных фитоценозов на илоотстойнике, т/га сухой массы

Table 1. Distribution of plant roots in pioneer species over limous settling sites, t/ha dried material

Фитоценоз					
Хвощовый			Осоково-хвощовый		
глубина, см	т/га	% от суммы	глубина, см	т/га	% от суммы
0–1	0,19	7,1	0–1	0,06	2,0
1–8	1,74	65,5	1–10	2,14	69,9
8–15	0,34	12,8	10–15	0,45	14,7
15–23	0,23	8,6	15–21	0,34	11,1
23–33	0,16	6,0	21–32	0,03	1,0
–	–	–	32–42	0,04	1,3
Итого	2,66	100,0	Итого	3,06	100,0

Примечание. Прочерк – не определялось.

Таблица 2. Запасы биомассы в пионерных фитоценозах техногенных ландшафтов лесотундры, т/га сухой массы

Table 2. Biomass resources of pioneer plant species in post-mining landscapes of forest-tundra areas, t/ha dried material

Компоненты биомассы	Лесотундровый пояс			Горно-тундровый пояс		
	Фитоценоз					
	вейниково-ивняковый	чозениево-ивняковый	ивняково-чозениевый	хвощовый	песчанковый	пушицево-мохово-ивняковый
Надземная биомасса	2,46	1,66	0,96	0,39	1,54	2,16
Фитомасса	1,52	1,59	0,92	0,35	1,14	1,67
В том числе:						
древесные виды	0,79	1,59	0,86	–	0,02	0,80
травы	0,73	–	0,06	0,35	1,12	0,87
Мортмасса	0,94	0,07	0,04	0,04	0,40	0,49
В том числе:						
древесные виды	0,07	0,07	0,03	–	0,40	0,16
травы	0,87	–	0,01	0,04	–	0,33
Подземная биомасса	2,09	0,59	0,36	0,97	2,90	10,57
В том числе:						
корни	1,50	0,59	0,36	1,71	1,49	3,74
остатки трав	0,40	–	–	0,09	0,03	–
древесные включения	0,11	–	–	0,02	–	–
корневой опад	0,08	–	–	7,90	1,38	6,83
Общая	4,55	2,25	1,32	10,11	4,44	12,73

Примечание. Прочерк здесь и далее – отсутствует.

нологического цикла эфельных отвалах максимальная продуктивность достигается *Arctophila fulva* – до 450 г/м², *Senecio atropurpureus* – до 360 г/м² спустя пять лет. Отмечено высокое (до 560 г/м²) накопление отмершей растительной массы в условиях арктофилового луга. Значительны здесь и запасы подземного органического вещества – в поверхностном 0–20-сантиметровом слое содержится до 350 г/м², в том числе 63% фитомассы в 0–10-сантиметровом слое.

Лесотундровая зона. Анализ флористического состава, экобиоморф растений, структуры надземной и подземной биомассы на отработанных полигонах россыпных месторождений в лесотундровой зоне региона позволяет предположить, что здесь естественное восстановление растительного покрова характеризуется большим сходством сингенетических стадий. При этом формирование пионерных агрегаций наиболее активно протекает на отвалах вскрышных пород. Уже через 12–20 лет после прекращения добычи полезных ископаемых отмечается образование ивняковых фитоценозов со сплошным напочвенным ярусом из злаков, осок, пушиц, хвощей и зеленых мхов, при участии до 48% травянистых видов в составе надземной фитомассы (табл. 2).

В свою очередь на отвалах галечникового материала вследствие низкой влагообеспеченности субстрата и отсутствия плодородного слоя растительность восстанавливается крайне медленно. Сомкнутость кронового полога в пионерных группировках на техногенных образованиях 20-летнего возраста составляет не более 25%, проективное покрытие напочвенного покрова – до 40%. Обращает на себя внимание также тот факт, что из 350–400 видов локальной флоры, например, долины р. Б. Кепервеем, в процессе самозарастания нарушенных ландшафтов принимает участие лишь 40–50 видов с ярко выраженной эксплерентностью (Пу-

гачев и др., 2001). Для отвалов вскрышных пород масовыми являются *Salix schwerinii*, *S. krylovii*, *S. pulchra*, *S. bebbiana*, *Chosenia arbutifolia*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Elymus confusus*, *Carex lugens*, *C. stans*, *Chamaenerion angustifolium*, *Artemisia tilesii*. Из числа травянистых многолетников, наиболее перспективных для содействия естественному восстановлению нарушенного растительного покрова, могут быть рекомендованы для отвалов вскрышных пород *Arctagrostis latifolia*, *Festuca rubra*, *Trisetum spicatum*, для гидроотвалов – *Arctagrostis latifolia* и *Elymus confusus*. На дражных отвалах поселение растений практически отсутствует, отдельные разреженные группировки отмечены в микропонижениях, где могут накапливаться мелкозем и растительные остатки.

Северотаежная зона. Здесь формирование пионерной растительности на большей части отвалов вскрышных пород происходит аналогично сукцессионным процессам в лесотундровой зоне. В первые годы после снятия техногенной нагрузки поселяются *Crepis nana* и, единично, *Salix schwerinii*. Через 5–12 лет на них формируется мозаичный растительный покров из неприхотливых, но обладающих высоким репродуктивным потенциалом видов – *Crepis nana*, *Chamaenerion angustifolium*, *Festuca altaica*, *Poa glauca* и ряда других злаков. Успешно развиваются группировки из *Salix schwerinii*, *Chosenia arbutifolia*, *Populus suaveolens*; имеется единичный подрост *Larix cajanderi*.

Общий запас фитомассы на данной стадии сукцессий составляет 2,67 т/га (табл. 3). Третья фаза формирования пионерных ценозов на отвалах вскрышных пород 15–20-летнего возраста характеризуется значительным расширением видового состава и усложнением структуры растительных группировок. В травяном ярусе продолжают преобладать виды из семейства Poaceae, в древесно-кустарничковом с проективным

Таблица 3. Количество биомассы на разновозрастных отвалах вскрышных пород, т/га сухой массы

Table 3. Biomass contents of off-stripped rocks of different ages, t/ha dried material

Компоненты биомассы	Возраст отвалов, лет			
	2	8	14	20
Фитомасса	0,04	0,54	2,67	3,59
В том числе:				
надземная	0,03	0,23	0,31	2,53
подземная	0,01	0,31	2,36	1,06
Мортмасса	–	0,05	0,06	1,23
Биомасса	0,04	0,59	2,73	4,82

покрытием 50–60% доминируют *Populus suaveolens*, *Chosenia arbutifolia*, *Salix bebbiana*, *S. pulchra*, *Larix cajanderi*. На вскрышных отвалах с возрастом более 20 лет доминирует древесно-кустарниковый ярус, уже оказывающий угнетающее воздействие на травянистый покров и обуславливающий появление мхов. Запас фитомассы достигает здесь 3,59 т/га. Наивысшей продуктивностью обладает тополь (*Populus suaveolens*) – 1,32 т/га и ива Шверина (*Salix schwerinii*) – 1,04 т/га; доля же разнотравья не превышает 0,01 т/га.

На отвалах вскрышных пород, образованных 50–60 лет назад, развивается сложный в структурно-функциональном отношении растительный покров, в состав которого входят *Larix cajanderi*, *Pinus pumila*, *Chosenia arbutifolia*, *Populus suaveolens*, *Salix krylovii*, *Rosa acicularis*, *Spiraea salicifolia*, *Arctous alpine*, *Saxifraga punctata*, *Vicia multicaulis*, *Geranium erianthum*, *Chamaenerion angustifolium*, *Ch. latifolium*, *Galium boreale*, *Polemonium boreale*, *Aconitum ajanense*, *Aruncus*

sylvester, *Artemisia tilesii*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Pedicularis resupinata*, *Beckmannia syzigachne*, *Carex pallida*, *Equisetum pretense* и другие виды с меньшим обилием. Чозениевые группировки уже изреживаются из-за подъема уровня мерзлоты и изменения водно-теплового режима в техногенных образованиях, уступая место лиственнице, которая начинает доминировать в восстанавливающихся ландшафтах. На дражных отвалах развита фрагментарная древесно-кустарниковая растительность из ив и чозении.

Решение проблемы ускоренного восстановления природной ценности нарушенных земель и сохранения биоразнообразия речных долин может быть достигнуто путем сохранения естественных участков растительности для обеспечения более успешной регенерации почвенно-растительного покрова посттехногенных ландшафтов. Полигоны располагаются в речных долинах и соседствуют с поймами и склоновыми шлейфами, что в известной мере обеспечивает налет семян из природных комплексов. Восстанавливающаяся растительность имеет своеобразный видовой состав благодаря большому разнообразию эдафических условий мест произрастания. Основная масса растительных остатков в профиле техногенных элювиев, в основном и определяющая потенциальное плодородие грунтов, привносится в ходе горнодобычных работ. Отсутствие четких закономерностей в распределении измельченной растительной массы является следствием исходной неоднородности разрабатываемых отложений. Подтверждением этого служит существенное варьирование запасов и структуры биомассы в формирующихся почвенно-растительных комплексах. Многообразие условий мест произрастания в техногенных ландшафтах, их специфические особенности обеспечивают поселение здесь видов с разными требованиями к среде, в том числе таких, которые обычно не встречаются в естественных сообществах на этих элементах ландшафта или на таких высотах (рис. 1).

Экспертно-прогнозная оценка темпов естественного восстановления растительного покрова техногенных ландшафтов, основанная на сочетании климатических показателей (радиации, тепла, влаги и света) на территории региона, позволяет выделить (рис. 2) три основных варианта: 100–79%, 79–58, 58–27 от оптимума (Пугачев, Хлыновская, 1986). Для первого из них характерно поступление на поверхность в весенне-летне-осенний период (апрель – сентябрь) 71 ккал/см² суммарной радиации, суммы среднесуточных температур выше 5°C – 1000–1200, продолжительности теплого периода года – 100–110 дней, коэффициента увлажнения (по Иванову) – 0,8–1,4 ед. В этих условиях развиваются лесотундровые фитоценозы с узкими лентами пойменных лесов. По мере уменьшения теплообеспеченности в на-



Рис. 1. Поселение типичного обитателя пойм чозении (*Chosenia arbutifolia*) на нарушенных землях в кедровостланиковом поясе на высоте 980 м н. у. м. (месторождение Кубака, бассейн р. Омолон)

Fig. 1. *Chosenia* (*Chosenia arbutifolia*), that is a typical inhabitant of flood plains, invading the disturbed soil areas, 980 m above the sea level (Kubaka Lode, the Omolon R. area)

правлении приледоморья и береговой полосы Берингова моря, комплекс внешней среды приближается к нижней границе существования растительности. Между крайними значениями существует множество промежуточных вариантов, включающих изменение фитомассы от 70 т/га (100–79% от оптимума) в континентальных районах до 4–6 т/га (6–8%) в зоне влияния холодных морей. Аналогично происходит изменение скорости регенерации нарушенного почвенно-растительного покрова при идентичности литогенной основы, характера и степени воздействия горнотехнической деятельности на природную среду и в других частях региона.

Естественное восстановление почвенно-го покрова. Особенность территорий, нарушенных горными работами, заключается в том, что они сложены вынесенными на поверхность глубинными породами, не подвергавшимися ранее выветриванию, или слабовыветрелыми, резко обедненными гумусом. Подобное образование, вызванное «геологической деятельностью человека» (по В. И. Вернадскому), не имеет аналогов в природе и является специфическим субстратом для произрастания растений (Колесников, 1974). По существующей технологии при проведении вскрышных работ верхний слой отложений вместе с почвенно-растительным покровом сдвигается и формирует борта полигона. Поэтому содержание органического вещества здесь выше, чем на других нарушенных участках. В свою очередь, илоотстойники, сложенные илистыми и пылеватыми частицами, занимают пониженные части полигонов, хорошо увлажнены и характеризуются залеганием мерзлоты на глубине 50–80 см в середине периода вегетации. Галечные и дражные отвалы возвышаются над илоотстойниками на 10–15 м и имеют довольно крутые склоны. Сложенные хорошо отмытым от мелкозема материалом, практически полностью лишённые органического вещества, такие отвалы представляют собой наименее благоприятный субстрат для произрастания растений, и процесс формирования пионерных группировок затягивается на десятилетия.

Поверхность обследованных посттехногенных ландшафтов на первых этапах их стабилизации характеризовалась отсутствием сомкнутого растительного покрова, низкой микробиологической деятельностью и замедленным биологическим круговоротом (рис. 3). Малый объем «живого вещества», участвующего в биосинтезе и накоплении биогенных элементов, обуславливает очень низкие темпы восстановления почвенного покрова в начальный период (Колесников, 1974).

Формирование почвенных комплексов на илоотстойниках, исключенных из сферы влияния горных работ, происходит на фоне не-

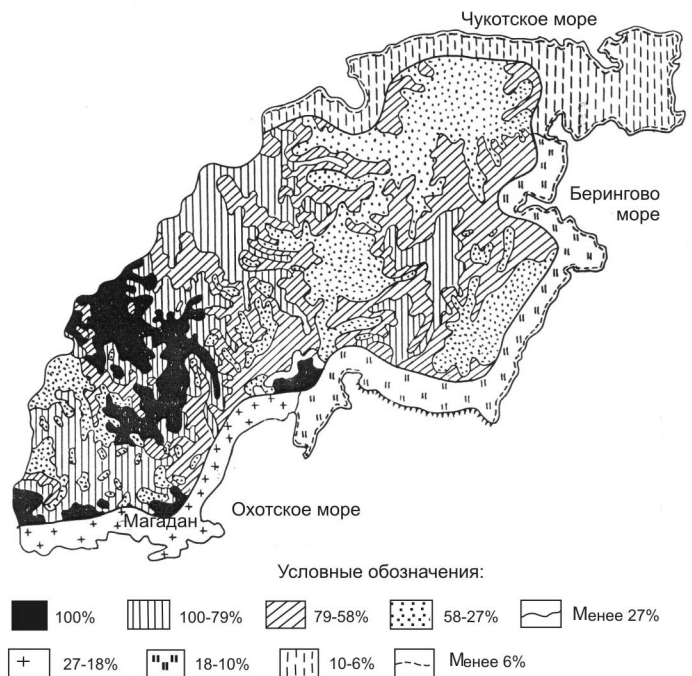


Рис. 2. Схема районирования территории Крайнего Северо-Востока по скорости естественного восстановления земель, нарушенных открытыми горными работами (% от оптимума)

Fig. 2. Classification of northeastern Russia areas, in accordance with the soil restoration rates in post-mining areas (% of the optimum value)

однородности гранулометрического состава фракций мелкозема и мощности слагающих слоев. Кратковременность влияния пионерных растений на свойства почво-грунтов не позволяет с большой степенью достоверности проследить их роль на начальных стадиях почвообразования (табл. 4). Предварительно можно отметить, что пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*)



Рис. 3. Первичные сукцессии на вскрышных и галечных отвалах 8-летнего возраста (руч. Олень, приток р. Колыма)

Fig. 3. Initial plant succession over 8-year old off-stripped rocks and gravel dumps (the Olen Creek area, a tributary to the Kolyma R.)

Таблица 4. Физико-химические свойства пионерных почв техногенных ландшафтов

Table 4. Physicochemical characteristics of pioneer soils in post-mining areas

Техногенное образование, растительность	рН		C _{общ} , %	Гидролитическая кисл-сть мг-экв. / 100 г почвы	Обменные основания		V, %
	H ₂ O	KCl			Ca	Mg	
Тундровая зона							
Илоотстойник							
Без растительности	6,7	5,8	0,33	2,4	3,5	1,8	69
Бриум	7,0	6,0	0,69	2,2	сл.	3,5	78
Хвощ северный	6,7	5,8	1,76	1,7	–	–	–
Пушица Шейхера	6,6	5,6	0,92	1,9	5,8	1,2	78
Осока прямостоячая	6,6	6,0	0,40	1,2	4,7	0,9	82
Мятлик арктический	6,1	5,1	0,67	2,8	6,8	0,5	72
Северолюбка рыжевато-зеленая	6,0	4,9	2,00	8,0	13,9	0,8	65
Арктополевица широколиственная	6,6	6,2	0,73	1,7	9,1	1,5	86
Отвал вскрышных пород							
Без растительности	7,9	–	0,32	0,9	5,0	0,9	5,9
Арктополевица широколиственная	7,9	–	0,45	0,3	6,6	0,4	7,0
Лесотундровая зона							
Илоотстойник							
Без растительности	6,7	5,8	0,33	2,4	3,5	1,8	69
Бриум	7,0	6,0	0,69	2,2	сл.	3,5	78
Хвощ северный	6,4	5,0	0,42	6,5	сл.	отс.	38
Арктополевица широколиственная	6,6	6,2	0,73	1,7	9,1	1,5	86
Отвал вскрышных пород							
Без растительности	6,0	5,2	0,57	1,7	3,0	0,5	68
Вейник Лангсдорфа	6,5	5,4	1,43	2,7	7,1	отс.	72
Северотаяжная зона							
Отвал вскрышных пород							
Глубина профиля, см:							
0–15	–	6,0	3,10	2,6	5,4	1,6	73
50–60	–	4,7	–	2,4	4,0	1,0	68
120–130	–	5,0	–	2,2	3,6	1,2	69

поселяется на кислых грунтах с рН 4,4–4,7, в то время как хвощи и мятлики требуют более высоких значений рН – 5,4–5,8.

По совокупности химических свойств вскрышные породы несколько хуже илоотстойников. В то же время более легкий механический состав, лучшее аэрирование и прогревание профиля компенсируют их неблагоприятные свойства и создают условия для активного развития растительного покрова при условии достаточного увлажнения.

Почвообразовательный процесс, как известно, характеризуется накоплением органического вещества. В связи с этим особый интерес вызывает изучение самой верхней части отложений – сантиметрового слоя, представляющего собой тонкую пленку молодых почв, образовавшихся под влиянием отдельных видов растений (см. табл. 4). Проведенные исследования позволили вы-

явить увеличение содержания гумуса в ряду осока – пушица – мятлик – арктополевица. Это дает основание сделать вывод, что на начальных этапах восстановления растительного покрова его влияние на формирование почвенного профиля нивелируется неоднородностью минеральной основы и большой пестротой экологических ниш. Отдельные виды растений поселяются в тех местах, где создается минимум необходимых условий для их произрастания, преимущественно в микрорельефах, где протекает начальный процесс накопления органического материала. При этом разреженный растительный покров еще не способен эффективно задерживать отмершие остатки.

По химическим показателям рассматриваемый поверхностный слой незначительно отличается от корнеобитаемой толщи отложений. Реакция среды в нем слабокислая, однако степень насыщенности щелочноземельными элементами очень высокая, за исключением тех случаев, когда наблюдается заметное накопление органического вещества. Высокая степень насыщенности отложений основаниями подтверждает их неветренность и невымываемость; в минеральных горизонтах зональных почв этот показатель значительно ниже.

Процесс гумусонакопления в формирующихся биогеоценозах техногенных ландшафтов, стабилизация его качественного состава, при общности климатических условий, тесных биогеохимических связей, сходстве биохимического состава растительности, должны приближаться к зональному типу (табл. 5).

Гумусовые вещества инициальных почв изученных объектов различного генезиса характеризуются невысоким отношением $C_{г.к.}/C_{ф.к.}$, в среднем равным 0,6–0,7. В составе гуминовых кислот субстрата доминируют подвижные формы – свободные кислоты и связанные с несиликатными формами железа и алюминия. Во всех исследованных образцах они составляют 80–90%. Соотношение $C_{г.к.}/C_{ф.к.}$ в этой группе, за некоторым исключением, складывается в пользу фульвокислот. Очевидно, что на ранних стадиях формирования почв чаще образуются фульвокислоты или же гуминовые кислоты, близкие к ним по свойствам. Несмотря на высокую степень насыщенности основаниями, в составе которых преобладает кальций, гуминовых кислот, связанных с ним, т. е. черных гуминовых кислот, очень мало вследствие медленных темпов биологического круговорота и незначительной доли участия в нем кальция

Таблица 5. Состав гумуса органогенных горизонтов (0–1 см) пионерных почв техногенных ландшафтов, % к $C_{\text{общ}}$.Table 5. Humus composition in organic layers (0–1 cm) of pioneer soils in post-mining areas, % versus C_{total}

Растительность	Общий углерод по Тюрину, %	Гуминовые кислоты (г. к.)	Фульвокислоты (ф. к.)	Остаток	$C_{\text{г.к.}}/C_{\text{ф.к.}}$
Тундровая зона					
Илоотстойник					
Без растительности	0,78	11,5	15,4	73,1	0,74
Хвощ северный	1,76	11,9	13,1	75,0	0,91
Пушица Шейхцера	0,92	10,9	16,3	72,8	0,67
Осока прямостоячая	0,40	7,5	15,0	77,5	0,50
Мятлик арктический	0,67	14,9	20,9	64,2	0,71
Арктополевица широколистная	8,82	18,2	22,5	62,1	0,92
Отвал вскрышных пород					
Без растительности	0,32	6,2	6,2	87,6	1,00
Арктополевица широколистная	0,45	13,4	17,8	68,8	0,75
Мятлик арктический	0,65	10,7	12,3	77,9	0,87
Лесотундровая зона					
Илоотстойник					
Без растительности	0,33	3,3	15,1	81,6	0,22
Хвощ северный	0,42	4,7	16,7	78,6	0,28
Мятлик северный	4,41	18,4	14,5	67,1	1,27
Ольховник кустарниковый	1,57	6,7	17,5	75,8	0,38
Северотаежная зона					
Илоотстойник					
Хвощ северный	0,42	14,7	16,7	78,6	0,88
Мятлик северный	0,65	10,7	12,3	77,9	0,87
Арктополевица широколистная	4,41	18,4	14,5	67,1	1,27

(Пономарева, Плотникова, 1980). Большое содержание нерастворимого остатка (65–85%) и, соответственно, очень низкая степень гумификации дает основания предположить, что он состоит из веществ негумусовой природы (Кленов, 1981). Сравнение группового состава органического вещества зональных почв и техногенных ландшафтов показало, что именно по этому показателю они имеют наибольшие расхождения. Площение гумусовых веществ зависит от дисперсности, структуры, химического состава минералов и длительности воздействия. По нашим данным, процент нерастворимого остатка уменьшается в случае высокого содержания гумуса. Из этого следует, что в условиях региона взаимодействие органических и минеральных компонентов минимально. Сопоставление содержания свободных гуминовых кислот и связанных с несиликатными формами R_2O_3 , а также механического состава (в частности, содержания илстой фракции) не обнаруживает четких закономерностей.

Рассматривая содержание органического вещества и гуминовых кислот под разными видами растений, можно отметить вполне определенную взаимосвязь. С увеличением общего запаса органического вещества в

поверхности грунтов техногенных образований увеличивается и содержание в нем гуминовых кислот, но остается в 2 раза более низким по сравнению с содержанием в зональных почвах. Качественный состав гумуса отвалов вскрышных пород 13-летней давности и молодых илоотстойников не имеет принципиальных различий – везде отмечается низкая степень гумификации, не превышающая 10–13%, преобладание фульвокислот, а в составе гуминовых кислот – доминирование ее бурой разновидности.

Поскольку гумификация – процесс главным образом биохимический, данное сходство разновозрастных отложений подтверждает низкие темпы гумусообразования и заторможенность микробиологической деятельности в поверхностном слое техногенных образований различного генезиса.

Анализ результатов группового и фракционного состава гумуса зональных почв и техногенных ландшафтов позволяет сделать вывод, что фактором, предопределяющим тип гумусонакопления, являются гидротермические условия, в которых протекают процессы деградации и гумификации опада, т. е. энергетический баланс биогеоценоза.

Таким образом, исследования показали, что качественный состав гумуса пионерных почвенных образований техногенных ландшафтов Крайнего Северо-Востока в основ-

ных чертах сходен с составом гумуса зональных почв.

Общие закономерности естественного восстановления посттехногенных ландшафтов. Особенности процессов самовосстановления техногенных экосистем в целом и их почвенно-растительного покрова в частности во многом определяются соответствием характера горных работ общему направлению развития природной среды под воздействием естественных доминантных факторов (Глотов, Глотова, 2001). На основе материалов геоэкологических исследований установлено, что в горных районах региона доминантными являются неотектонические движения и их направленность. На участках современных неотектонических воздыманий и преобладающих процессов вертикального расчленения рельефа добыча золота способствует активизации экзогенных склоновых процессов, размыву ранее накопленных рыхлых отложений до скального основания (плотика), благоприятствуя контакту слабыветрелых пород коренной основы с агентами выветривания. По П. В. Ивашову (1993), скорость геохимических процессов выветривания при этом многократно возрастает, а распространенные на Северо-Востоке сульфидизированные породы становятся источником новообразованных кислых и очень кислых

сульфатных вод, обогащенных тяжелыми токсикофильными металлами. В этих условиях образование пионерных почв возможно только на локальных участках, искусственно защищенных от эрозии.

В элементах ландшафтов, пассивных в неотектоническом отношении, в условиях преобладания аккумуляции и боковой эрозии, полностью разрушенный почвенно-растительный покров способен через 5–15 лет восстановиться, хотя и в значительно измененном виде. Именно на таких участках наблюдаются экологически значимые процессы формирования пионерных почв.

Важная роль в гумусообразовании принадлежит не только растительности как основному компоненту экосистем, но и скорости деструкции органического материала в специфических условиях среды. Из общего числа изученных растений в условиях криолитозоны самыми медленными темпами разложения опада характеризуются мхи. Им свойственно низкое содержание протеина (4,7%) и высокое – клетчатки (45,54%). Если предположить, что скорость деструкции опадов прямо пропорциональна содержанию белка, то по этому признаку наиболее распространенные растения техногенных ландшафтов располагаются в следующий ряд: мхи – дриада – валериана – лисохвост – арктополевика – мятлик – ива – осока – хвощ. При этом следует учитывать, что сравнительно низкое содержание в листьях дриады клетчатки (11,3%) сопровождается повышенным содержанием жиров (8,8%), обуславливающих торможение процессов их разложения.

Изучение химического состава опада в начале их деструкции показало существование как общих для всех растений процессов, так и специфичных для определенных видов. К общим относится процесс выноса из растительных остатков калия и фосфора при относительном возрастании содержания кальция, железа, алюминия и марганца. В то же время изменения количества кремния и магния зависят от видовой принадлежности растений. Например, при разложении листьев дриады точечной возрастает содержание кремния и магния, в то время как в опаде листьев осоки блестящей эти элементы остаются без изменений. Это можно объяснить связью кремния и магния в листьях осоки с органическими веществами, может быть, с белками, которые выносятся из опада при его деструкции как наиболее легко окисляемые. Этих веществ несколько больше в осоке, чем в дриаде. Не исключено, что насыщенностью листьев кремний- и магниорганическими комплексами контролируется и скорость разложения опада. В дриаде подобных органическо-минеральных комплексов меньше, поэтому органическое вещество распадается более полно, способствуя накоплению в неразложившемся остатке кремния и магния.

В илоотстойниках и отвалах вскрышных пород содержится измельченный органический материал, его разложение предшествует поселению растительности или идет одновременно с ним. Наличием исходного материала для формирования будущих почв техногенные образования качественно отличаются от коренных пород, подвергшихся выветриванию. Концентрация привнесенного органического вещества в поверхностной пленке илоотстойников и вскрышных отвалах варьирует в пределах 0,3–0,8%. Во всех случаях содержание фульвокислот в органическом веществе примерно одинаковое, хотя в тундровой почве больше гуми-

новых кислот. Установленный факт можно объяснить тем, что гуминовые кислоты наиболее активно потребляются микроорганизмами, поэтому без постоянного возобновления запасов косного органического вещества их доля снижается за счет возрастания нерастворимого остатка. В связи с этим отметим, что и в естественных глеевых почвах тундровой зоны гуминовых кислот в аккумулятивном горизонте больше, чем в лесотундровой зоне. Эта особенность подтверждает связь их количества с микробиологической активностью.

При поселении на поверхности илоотстойника и отвалов растений, являющихся постоянным источником разлагающейся массы органического вещества, закономерности в содержаниях гуминовых и фульвокислот несколько меняются. Прежде всего отмечается вполне определенная связь количества органического вещества и гуминовых кислот. С увеличением общего запаса органического вещества возрастает и содержание гуминовых кислот. Качественный состав гумуса пионерных почв каких-либо ярко выраженных особенностей не имеет – везде отмечается низкая степень гумификации (10–43%), преобладание фульвокислот, а в составе гуминовых – доминирование ее бурой разновидности.

В составе гуминовых кислот преобладают подвижные формы – свободные кислоты и связанные с несилкатными формами железа и алюминия. Во всех исследованных образцах они составляют 80–90%. Несмотря на высокую степень насыщенности основаниями, в составе которых преобладают кальций, связанных с ним гуминовых кислот, т. е. черных гуминовых кислот, очень мало вследствие медленных темпов биологического круговорота и незначительной доли участия в нем кальция (Пугачев, Тихменев, 2005). Большое содержание нерастворимого остатка (65–85%) и, соответственно, очень низкая степень гумификации позволяют предположить, что он состоит из веществ негумусовой природы (Кленов, 1981).

Анализ результатов группового и фракционного состава гумуса зональных почв и техногенных образований различного генезиса позволяет сделать вывод, что фактором, предопределяющим тип гумусонакопления, являются гидротермические условия, в которых протекают процессы деструкции и гумификации опада, т. е. определяется энергетический баланс регенерационной экосистемы. В первую очередь эта особенность проявляется в том, что доля фульвокислот в пионерных почвах относительно меньше, а доля гуминовых выше, чем в природных. Отношение $C_{г.к.}/C_{ф.к.}$ в них часто превышает 0,7, достигая 1,27, в то время как в природных не превышает 0,65. Установленный факт особенно интересен тем, что он проявляется на фоне активизации микробиологических процессов в восстанавливающихся почвах (Пугачев, 2001). Это может быть объяснено тем, что в техногенных образованиях процессы генерации гуминовых кислот протекают более интенсивно, чем в зональных. Поскольку гуминовые кислоты являются существенным аккумулятором энергии и элементов питания растений (Александрова, 1980), есть все основания считать, что в посттехногенных ландшафтах создаются органогеохимические условия, более благоприятные для питания растений, и формируются источники энергии для их роста. Данный вывод вполне согласуется с ранее установленным фактом увеличения теплосодержания приповерхност-

ных слоев в криолитозоне при техногенных нарушениях (Жавнерова и др., 1983).

Итак, в пределах пассивных в неотектоническом отношении районов почвообразовательный процесс в техногенных объектах контролируется тремя основными факторами: содержанием привнесенной массы органического вещества, минеральным и гранулометрическим составом приповерхностных образований, а также теплообеспеченностью приповерхностного слоя субстрата. Направленно изменяя эти факторы, можно контролировать видовой состав поселяющихся растений и скорость почвообразования, убыстрять процесс восстановления природной ценности нарушенных ландшафтов.

Основные принципы рекультивации техногенных ландшафтов. Рекультивация техногенных ландшафтов и уход за ними – сложный и длительный процесс, обуславливающий необходимость пространственной локализации и нейтрализации вредного воздействия горных работ на природную среду (Горлов, 1981; Пугачев, Тихменев, 2003, 2004).

Тундровая зона. В условиях арктического побережья оценка пригодности отвалов полигонов на отработанных россыпях для целей биологической рекультивации осложняется широким варьированием гранулометрического состава техногенных образований, водно-физических свойств и наличием запасов потенциально плодородных грунтов. Восстановление продуктивности нарушенных земель обычно сдерживается дефицитом, а часто и отсутствием предварительно снятого почвенного слоя. Эта проблема может быть решена посредством использования для землевания поверхности нарушенных участков рыхлыми отложениями различного генезиса, представляющих собой потенциально плодородные породы. Грунты элювиально-делювиального и иного происхождения, разрабатываемые при добыче россыпного золота, характеризуются более благоприятными для роста и развития растений свойствами по сравнению с зональными почвами. Они отличаются меньшей кислотностью ($pH > 6$), большей насыщенностью почвенно-поглощающего комплекса основаниями (до 77%), высоким содержанием доступных форм фосфора (20,1 мг/100 г), что благоприятствует успешному развитию почвенно-растительного покрова. Такие образования, как илоотстойники, сложенные смесью песчаных и илистых фракций, могут быть восстановлены и без формирования корнеобитаемого слоя, потребуются лишь проведение дренажных работ и тепловых мелиораций на рекультивируемых участках.

Агроклиматические ресурсы Чукотки очень ограничены (Хлыновская, 1981). Эта проблема усложняется крайне низкой влажностью и малым количеством мелкозема во вскрышных и эфельных отвалах, что является основным препятствием для поселения на них растений без выполнения целого комплекса мелиоративных мероприятий (Временная..., 1990). Основными направлениями восстановления природной ценности нарушенных земель территории является, как показали наши исследования, рекультивация в санитарно-гигиеническом (противоэрозионном), сельскохозяйственном и водохозяйственном направлениях (Тихменев, 1995). Выполнение работ предусматривает работы по планировке и землеванию поверхности нарушенных участков с созданием корнеобитаемого слоя, пригодного для произрастания травянистых многолетни-

ков (арктополевиц широколистной и тростниковой, пырейников) и поселения кустарников. Созданные в конце 90-х гг. сеяные луга в бассейне р. Ичувеем из арктополевицы широколистной в целях кормопроизводства продолжали эффективно выполнять противоэрозионные функции до последнего времени (Пугачев, Тихменев, 2004).

Важным направлением восстановительных работ является содействие процессам естественного восстановления почвенно-растительного покрова. Обязательные мероприятия включают планировку и фрагментарное землевание поверхности техногенных образований, создавая условия для поселения растений за счет налета семян из примыкающих естественных сообществ. Эффективностью мер содействия самовосстановлению растительного покрова на больших площадях нарушенных ландшафтах может быть увеличена посредством сохранения при разработке месторождения участков с естественным растительным покровом для ускоренной регенерации посттехногенных ландшафтов.

Успешному росту и развитию многолетних трав на техногенных образованиях в известной степени благоприятствует естественный фактор высоких широт – большая продолжительность светового периода суток (Хлыновская, 1981). Световой период суток на 70° с. ш. в июне – августе на $1/3$ продолжительней аналогичного показателя, например, для побережья Охотского моря, а недостаток тепловых ресурсов компенсируется удлиненным, до 100–110 дней, периодом фотосинтетической активности растений. Эти природные факторы позволяют растениям пройти полный цикл сезонного развития, включая диссеминацию, и сформировать значительную фитомассу за счет положительного баланса фотосинтеза. В то же время возможность проведения биологического этапа рекультивации ограничиваются кислой реакцией почво-грунтов, низким содержанием в них обменных катионов и элементов минерального питания растений. Решение данной проблемы может быть достигнуто посредством включения рекультивационных мероприятий в технологический цикл разработки месторождений и внесения минеральных удобрений в корнеобитаемый слой при рекультивации сельскохозяйственного направления.

Лесотундровая зона. Оптимизация плодородия формируемого корнеобитаемого слоя на техногенных объектах здесь имеет три генеральных направления: агрофизическое, агрогеохимическое и агромелиоративное. Агрофизические методы повышения плодородия корнеобитаемого слоя заключаются в переходе на принципиально новую технологию рекультивации земель. Она основана на использовании запасов органического вещества и элементов минерального питания, накопленных в составе растительного покрова и органических горизонтов к моменту вовлечения природных экосистем в сферу горнодобычных работ. При этом следует предусматривать проведение противоэрозионных и других специальных инженерных мероприятий по предотвращению криогенных деформаций поверхности.

Агрогеохимические методы включают в себя оптимизацию гумусного состояния земель посредством мобилизации региональных природных источников с геохимическими особенностями территории. Агромелиоративные приемы основаны на использовании ланд-

шафтных технологий преобразования земель, обеспечивающих максимальную степень адаптации посттехногенных экосистем с естественной направленностью природных процессов.

Северотаежная зона. В отличие от природных почвенно-растительных комплексов, характеризующихся сбалансированностью органического вещества, техногенным ландшафтам свойственно сниженное содержание органического вещества, обусловленное его изъятием в процессе вскрышных работ. В связи с этим возникает проблема производства и применения органических и органо-минеральных удобрений за счет мобилизации промышленных, хозяйственных и бытовых отходов (Глотов, Пугачев, 2003).

Одним из эффективных приемов рекультивации является формирование теплоизолирующих экранов под корнеобитаемым слоем из слабо проводящего тепло растительного материала, в частности, измельченного торфа и осоковых кочек. При этом обеспечивается создание более благоприятных для роста и развития растений гидротермических условий, происходит ограничение поступления тепла в льдистые многолетнемерзлые породы и, следовательно, минимизация развития термокарста.

Своеобразие техногенных почво-грунтов долин бассейна Колымы состоит в их сравнительно высоком содержании органического вещества и доступных форм фосфора вследствие исторического развития почвенно-растительного покрова данной территории. Так, например, в стратиграфическом профиле аллювиальной толщи р. Берелех отмечается от 3 до 5 слоев погребенных плейстоценовых и голоценовых почв, перекрытых моренно-флювиогляциальными отложениями с обилием гумусированных прослоек. При этом содержание мелкозема составляет 20–30% при удельной массе от 1,85 до 2,90 г/см³. Вся толща погребенных почв имеет погребенные торфянистые горизонты с большим количеством неразложившихся растительных остатков. Содержание гумуса высокое и характеризуется полимодальным распределением – от 2,76 до 6,53%. Эти грунты оптимальны для использования при землевании поверхности техногенных образований для создания корнеобитаемого слоя.

В засушливые годы из-за нарушенного капиллярного поднятия грунтовых вод к корнеобитаемому слою, недостатка влаги внутрипочвенной конденсации и отсутствия искусственного орошения на рекультивированных землях сельскохозяйственного направления возделываемые травы могут не достичь хозяйственно ценных урожаев и даже погибнуть (Подковыркин, 1985). В случае невозможности строительства оросительных систем при проведении горнотехнического этапа рекультивации на экранирующий водоупорный слой наносится термоизолирующая подпахотная прослойка мощностью не менее 5 см, состоящая из мелких древесных остатков, мохового охеса и торфа. Такая прослойка в ранневесенний период ограничивает подток отрицательных температур от подстилающих многолетнемерзлых грунтов, что способствует достижению мягкопластичного состояния пахотного (корнеобитаемого) слоя на 7–10 дней раньше обычного. Кроме того, в прослойке накапливается влага из тающего снега и атмосферных осадков летом, которая легко используется корневыми системами растений.

При рекультивации земель в поймах рек необходимо проводить формирование защитных тополево-чозиевых лесополос шириной не менее 20 м в прирусловой части, которые имеют большое противоэрозионное значение и оказывают благоприятное влияние на микроклимат, в частности, способствуют снегозадержанию, а следовательно, улучшают условия перезимовки многолетних трав (Пугачев, 2001; Тихменев, 2001).

Вся технология биологической рекультивации, как и создание сеяных лугов на мелиорированных землях, должна базироваться на аборигенных видах растений, произрастающих на площадях, максимально приближенных к местам проведения работ (Денисов, 1983, 1984; Денисов, Тихменев, 1998). Посев семян адаптированных растений осуществляется в местах, экологически адекватных экологическим особенностям интродуцированных видов. Так, для участков с недостаточным почвенным увлажнением предпочтительнее высевать пырейники – сибирский, смешанный и извилистый, вейники пурпуровый и Лангсдорфа, тонконог азатский. Для мезофильных участков – пырейники изменчивый и почтиволокнистый, овсяницы, кострецы. На участках рекультивируемых земель с повышенной влагообеспеченностью оптимален посев арктополевца широколистной и тростниковой, бекмании восточной, лисохвоста альпийского, люцерны серповидной и целого ряда других видов. Использование травосмеси из пырейников и бекмании восточной показали высокую эффективность в рекультивационных работах на месторождении Кубака (рис. 5), где сформировался устойчивый, с высокой семенной продуктивностью растительный покров, надежно обеспечивающий налет семян на нарушенные земли территории горно-обогательного комбината (Тихменев, Тихменев, 2003).

Часто в традиционных проектах рекультивации доминирует горнотехнический этап, поскольку обычно проектные работы выполняются непрофильными организациями без участия специалистов-биологов. При этом не учитываются экологические, фитоценогические и другие аспекты проблемы; допускается, например, сплошная планировка техногенных участков. В результате этих действий подобным образом «рекультивированные» участки чаще представляют собой хорошо промытые осадками и тальми водами каменистые площади, на которых десятилетиями не поселяются даже неприхотливые пионерные виды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе разработки месторождений формируются техногенные объекты, резко отличающиеся по теплофизическим и гидрологическим свойствам от природных ландшафтных элементов. Эти свойства нарушенных земель определяют специфические особенности протекания самовосстановительных процессов в нарушенном почвенно-растительном покрове, когда на верхних пределах распространения древесно-кустарниковой растительности в составе пионерных сообществ значительна доля таких видов, как чозения, тополь, ива Шверина, типичных видов речных пойм. В то же время на части техногенных образований сукцессионные процессы протекают крайне замедленно и формирования первичных растительных группиро-



Рис. 5. Рекультивация участков поверхностных нарушений (ГОК «Кубака») с использованием семян видов местной флоры

Fig. 5. Restoration of disturbed surfaces (Kubaka Mine) using the area-typical plant seeds

вок затягиваются на десятилетия. Особенно неблагоприятными условиями для поселения и развития растений складываются на дражных, галечных и эфельных отвалах, где полномасштабная биорекультивация обязательна.

В связи с большим разнообразием эдафических условий для восстановительных работ наиболее перспективны виды местной флоры. Имеющиеся данные свидетельствуют, что инорайонные виды и сорта не гарантируют успех перезимовки растений и их успешного развития в экстремальных условиях техногенных образований региона. Опыт северного луговодства в России, биологической рекультивации на американском Севере (Агранат, Андреева, 1973), результаты наших исследований показали, что восстановление техногенных ландшафтов в регионе проходит наиболее успешно при использовании растений местной флоры. Пионерные группировки на нарушенных землях обычно включают 40–50 видов семенных растений, определяющих структуру формирующихся растительных сообществ в течение продолжительного времени (до 15–20 лет). Среди них обычны *Arctagrostis latifolia*, *Alopecurus alpinus*, *Deschampsia borealis*, *Festuca rubra*, *Poa alpigena*, *Elymus confusus*, *E. sibiricus*, *Trisetum spicatum*, а на участках с повышенным увлажнением также *Arctofila fulva*, *Senecio atropurpureus*, *Eriophorum vaginatum*, *Juncus castaneus*.

При подборе видового состава растений для промышленной рекультивации нарушенных земель следует учитывать особенности онтогенеза интродуцируемых видов, особенно их семенную продуктивность. Подбирая виды-рекультиванты, необходимо учитывать требования вида к условиям среды и подходить дифференцированно при создании растительного покрова на нарушенных землях, экологически адекватных их особенностям. Для повышения эффективности восстановительных работ следует шире использовать техно-

логические приемы для направленного формирования растительного покрова. В большинстве разработанных и осуществляемых проектах доминирует горнотехническая рекультивация, а биологическому этапу восстановительных работ уделяется явно недостаточное внимание. Для разработки научных основ биологической рекультивации нарушенных земель криолитозоны по-прежнему актуальны комплексные исследования с участием ботаников, экологов, агрофитоценологов и мерзлотоведов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН 06-1-П11-036 программы Президиума РАН «Биоразнообразию и динамика генофондов».

ЛИТЕРАТУРА

- Агранат Г. А., Андреева Е. Н. Изучение, охрана и использование природной среды на зарубежном Севере // Проблемы Севера. – М., 1973. – Вып. 18. – С. 196–212.
- Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
- Волобуев В. Р. Экология почв. – Баку: ЭЛМ, 1963. – 260 с.
- Волобуев В. Р. Введение в энергетику почвообразования. – М.: Наука, 1974. – 128 с.
- Временная инструкция по рекультивации земель, нарушенных при разработке многолетнемерзлых россыпей Северо-Востока СССР. – Магадан: ВНИИ-1, 1990. – 87 с.
- Глотов В. Е., Глотова Л. П. Новый подход к методологии прогноза последствий техногенных изменений геологической среды на Северо-Востоке России // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Т. 3. Четвертичная геология, геоморфология, россыпи: Материалы IX сессии СВО ВМО «Регион. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Ю. А. Билибина» (Магадан, 16–18 мая 2001 г.). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – С. 123–125.
- Глотов В. Е., Пугачев А. А. Использование малоотходных технологий рекультивации земель, нарушенных при освоении минеральных ресурсов Северо-Востока России // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные технологии освоения недр: материалы второй междунар. конф. – М.: РУДН, 2003. – С. 71–72.
- Глотов В. Е., Пугачев А. А. Органогеохимические зональности в почвах осадочных бассейнов Северо-Востока России // Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России: материалы Дальневост. регион. конф. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. – С. 210–212.
- Горлов В. Д. Рекультивация земель на карьерах. – М.: Недра, 1981. – 260 с.
- Гречищев С. Е., Чистотин Л. В., Шур Ю. Л. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. – М.: Недра, 1980. – 384 с.
- Денисов Г. В. Травосеяние в зоне вечной мерзлоты. – Новосибирск: Наука, 1983. – 241 с.
- Денисов Г. В. Агрофитоценологические аспекты травосеяния в зоне вечной мерзлоты. – Новосибирск: Наука, 1994. – 250 с.
- Денисов Г. В., Тихменев Е. А. Биорекультивация нарушенных земель криолитозоны с использованием многолетних луговых трав // Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения: тез. докл. – Магадан: Кордис, 1998. – Т. 1. – С. 229.

Жавнерова М. А., Замощ М. Н., Папернов И. М. Некоторые результаты исследований агроклиматической зональности рекультивируемых земель // Биологические проблемы Севера : тез. докл. X Всесоюз. симп. – Магадан, 1983. – Ч. 1. – С. 283–284.

Ивашов П. В. Биогеохимия внутрипочвенного выветривания. – М. : Наука, 1993. – 379 с.

Кленов Б. М. Гумус почв Западной Сибири. – М. : Колос, 1981. – 143 с.

Колесников Б. П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации земель в СССР. – Новосибирск : Наука, 1974. – С. 12–25.

Подковыркин В. В. Биологический этап рекультивации земель на северо-востоке СССР : рекомендации. – Новосибирск : СО ВАСХНИЛ, 1985. – 92 с.

Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). – Л. : Наука, 1980. – 222 с.

Пугачев А. А. Естественное восстановление почв пост-техногенных ландшафтов в тундровой и лесотундровой зонах Северо-Востока России // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – Т. 3. – С. 140–142.

Пугачев А. А., Тихменев Е. А. Экологические основы восстановления нарушенных земель на арктическом побережье Чукотки // Колыма. – 2003. – № 2. – С. 29–37.

Пугачев А. А., Тихменев П. Е. Экологические основы рационального использования почвенно-растительных комплексов Северо-Востока России // Северо-Восток России: прошлое, настоящее и будущее : Материалы II регион. науч.-практ. конф. (г. Магадан, 27–28 нояб. 2003 г.). – Магадан : Кордис, 2004. – С. 149–152.

Пугачев А. А., Тихменев Е. А. Антропогенная деградация и принципы оптимизации состояния почвенно-растительного покрова Северо-Востока // Наука Северо-Востока России – начало века : Материалы Всерос. конф., посвящ. памяти акад. К. В. Симанова и в честь его 70-летия (Магадан,

26–28 апр. 2005 г.). – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2005. – С. 411–414.

Пугачев А. А., Хлыновская Н. И. Оценка продуктивности почвенно-растительного покрова Крайнего Северо-Востока // Биологические проблемы Севера : тез. докл. XI Всесоюз. симп. – Якутск, 1986. – Вып. 1. – С. 79–80.

Пугачев А. А., Москалюк Т. А., Подковыркина Н. Е. Сингенез и продуктивность естественной растительности пост-техногенных ландшафтов Крайнего Северо-Востока // Колыма. – 2001. – № 1. – С. 42–46.

Пугачев А. А., Тихменев Е. А., Тихменев П. Е. Региональные особенности восстановления техногенных ландшафтов Северо-Востока Азии // Проблемы региональной экологии. – 2004. – № 5. – С. 55–63.

Пугачев А. А., Тихменев Е. А., Тихменев П. Е. Естественное восстановление техногенных ландшафтов листовидных редколесий Северо-Востока России // Экология. – 2005. – Т. 6. – С. 429–433.

Тихменев Е. А. Опыт и проблемы рекультивации нарушенных земель // Чукотка. Природно-экономический очерк. – М. : Арт-ЛИТЭКС, 1995. – С. 314–321.

Тихменев Е. А. Адаптивный потенциал луговых трав Якутии при создании сеяных лугов и биорекультивации в условиях Магаданской области. Ч. 2. Теоретические и прикладные вопросы травосеяния в криолитозоне : докл. междунар. конф. (Якутск, 4–26 апр. 2001 г.). – Новосибирск : СО РАН, 2001. – С. 174–176.

Тихменев Е. А., Тихменев П. Е. Закономерности формирования растительного покрова на нарушенных землях месторождения «Кубака» и проблемы рекультивации // Университетский комплекс – стратегический фактор социально-экономического развития северного региона : материалы науч.-практ. конф. (г. Магадан, 2003). – Магадан : СМУ, 2003. – С. 212–215.

Хлыновская Н. И. Агроклиматическое районирование Северо-Востока СССР. – Магадан : ИБПС ДВНЦ АН СССР, 1981. – 9 с.

Поступила в редакцию 01.02.2007 г.

RESTORATION OF POST-MINING LANDSCAPES IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA

A. A. Pugachev, E. A. Tikhmenev

This paper deals with the problem of a post-mining restoration of plants and soils in tundra, forest-tundra and taiga forest areas in the North-East of Russia. The data obtained about the soil biomass, and physicochemical and organic chemical characteristics of soils are discussed with regard to different disturbed land forms. The problem of a rehabilitation of environmental wealth is considered.

Key words: vegetation, plant species, soil, biomass, post-mining landscape, rehabilitation.