

УДК 574.4(571.51+571.65)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

© 2012 Е.А Тихменев¹, П.Е. Тихменев²

¹Институт биологических проблем Севера ДВО РАН,
Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан

²Администрация Магаданской области

Поступила в редакцию 29.09.2011

Эксперименты и опытно-промышленные испытания разработанной технологии биологической рекультивации показали высокую эффективность восстановления нарушенных ландшафтов. Полосное формирование корнеобитаемого слоя и использование семян видов аборигенной флоры, вносимых гидросеятелем вместе с растворенными минеральными удобрениями, обеспечивается ускоренная стабилизация поверхности техногенных образований.

Ключевые слова: техногенные образования, биологическая рекультивация, гидропосев, аборигенная флора

Приоритетное освоение запасов рудного золота на Крайнем Северо-Востоке России сопровождается масштабным строительством горнодобывающих предприятий и обогатительных комплексов, вызывая активизацию криогенных процессов. При разработке рудных месторождений происходит частичное или полное уничтожение биологических компонентов ландшафта, вызывая глубокую деградацию экологических систем. При этом выносятся на дневную поверхность глубоко залегающие горные породы, формирующие мощные геохимические аномалии, часто неблагоприятные для природной среды. Основные техногенные образования - карьеры, отвалы пустых пород и руды, накопители отходов обогащения, являющиеся объектами повышенной экологической опасности [1, 2].

Суровые климатические условия Северо-Востока Азии, горный рельеф, многолетняя мерзлота и низкий уровень теплообеспеченности территории определяет замедленность процессов естественного восстановления нарушенных экосистем. Сложность возникших экологических проблем усугубляется обедненным флористическим составом природных комплексов, невысокий прирост органической массы, широкое развитие криогенных форм рельефа, определяющих низкий уровень устойчивости экосистем к внешним воздействиям [3, 4]. Сложившаяся ситуация предопределяет необходимость разработки новых подходов к оптимизации природо-

пользования в условиях криолитозоны.

Объекты и методика исследований. Разработка технологических приемов рекультивации в конкретных биоклиматических условиях предшествовало изучение особенностей организации, функционирования и эволюции регенерационных экосистем [5]. Исследования были проведены на россыпных месторождениях золота Комсомольского и Билибинского ГОК (Чукотка), рудных месторождений «Дукат», «Школьное» и «Джульетта» (Магаданская область). Опытно-экспериментальные исследования по разработке технологии биорекультивации рудных месторождений были выполнены нами на месторождении «Кубака» в бассейне р. Омолон, крупнейшего притока р. Колымы. Высотное расположение техногенных объектов (550-950 м. н.у.м.), большая крутизна горных склонов и дефицит потенциально-плодородных грунтов, пригодных для оптимизации корнеобитаемого слоя (землевания), значительно затрудняют проведение рекультивации традиционными способами.

Площадь разрабатываемого рудного поля, приуроченного к левому борту р. Кубака и к его руслово-пойменной части, составляет около 10 км² с географическими координатами 63°40'-63°42' с. ш. и 159°56'-160°00' в. д. Отработка месторождения проводилась открытым способом с формированием нескольких карьеров и большего числа породных отвалов. Карьерные выемки расположены в диапазоне высот 650-880 м и приурочены к горно-тундровому и горно-лесному поясу. Глубина главной карьерной выемки составляет более 100 м, с углами откоса уступов бортов более 45° и основными элементами рельефа – днища, откосы. Отвалы пустых пород внешние, платообразные высотой 50-100 м, преобладают

Тихменев Евгений Александрович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией геоботаники, профессор кафедры биологии и химии.

E-mail: etikhmenev@north-east.ru

Тихменев Павел Евгеньевич, заместитель начальника отдела экологического контроля.

E-mail: nedra_tikhmenev@maglan.ru

щие элементы техногенного рельефа – плато, террасы по откосам. Накопитель отходов обогащения (хвостохранилище) ЗИФ комбината расположен на высотах 700-750 м в горно-лесном поясе. Высота дамбы составляет до 50 м с углом откоса 35°, площадью более 60 м. Линейные нарушения, площадки производственных и вспомогательных комплексов, складов оборудования размещены в диапазоне высот 580-700 м и представлены котлованами, выемками, насыпями, канавами, кюветами и дамбами (рис. 1).

Результаты исследований и их обсуждение

Исследования по разработке новых приемов биологической рекультивации техногенных образований были начаты нами на россыпных месторождениях золота Комсомольского и Билибинского ГОК (Чукотка), рудных месторождений «Дукат», «Школьное» и «Джульетта» (Магаданская область). Опытно-экспериментальные работы по разработке технологии биорекультивации рудных месторождений были выполнены на ГОК «Кубака», расположеннном в бассейне р. Омолон, крупнейшего притока р. Колымы.

Разрабатываемые технологические приемы основывались на изучении особенностей организации, функционирования и оценке семенной репродукции растительных сообществ регенерационных экосистем на разных высотных уровнях [6, 7]. Полученные данные свидетельствуют, что

естественное восстановление нарушенных почвенно-растительных комплексов лиственничных редколесий и кедровостланниковых сообществ на высотных отметках 650-750 м н.у.м. и выше, где в основном расположены техногенные образования, протекает крайне медленно [8, 9]. Полное отсутствие растительности характерно для основных техногенных образований – карьеров, отвалов пустых пород, занимающих наибольшие площади в зоне деятельности комбината. Они отличаются большой сухостью, активной аэрацией, отсутствием мелкозема, слабокислой или щелочной реакцией субстрата. Геохимический состав пустых пород характеризуется содержанием нормируемых веществ, таких как свинец, хром, ванадий, никель, марганец, олово, медь, цинк, обычно в концентрациях ниже предельно допустимых значений. Исключение составляет мышьяк, содержание которого (30-50 мг/кг) превышает предельную нормативную концентрацию более чем на порядок. В течение 6-8 лет, прошедших со времени завершения формирования обследованных отвалов пустых пород, на них отсутствуют поселившиеся растения и сохраняются условия для активной водной и ветровой эрозии, формирования геохимических аномалий.

Отвалы пустых пород, карьерные выемки и хвостохранилища на территории месторождения могут стать экологически безопасными толь-



Рис. 1. Рекультивируемые техногенные образования на золоторудном месторождении Кубака (бассейн р. Омолон)

ко после проведения комплекса технических мероприятий и направленной рекультивации.

Полномасштабная рекультивация нарушенных земель обычно сдерживается отсутствием предварительно снятого плодородного слоя из-за малой мощности почвенного покрова территории. Эта проблема была решена при создании корнеобитаемого слоя путем полосного землевания поверхности рекультивируемых объектов рыхлыми отложениями различного генезиса, содержащихся в вскрышных отвалах, в основном это грунты аллювиально-делювиального и флювиогляциального генезиса или почво-грунты, перемещенные в процессе разработки рудных месторождений. Они нередко более благоприятны для роста и развития растений по своим свойствам, выгодно отличаются от зональных почв меньшей кислотностью ($\text{pH} > 6$), большей насыщенностью почвенно-поглощающего комплекса основаниями (до 77%), высоким содержанием доступных форм фосфора (20,1 мг/100 г). Такие особенности грунтов вскрышных отвалов, приводимых в таблицах 1, 2, 3, позволяют эффективно их использовать для формирования корнеобитаемого слоя при рекультивации отвалов крупнофракционных пород [6].

При выполнении рекультивации нарушенных земель использовалась типовая горная техника, имеющаяся на горном предприятии (рис. 2). Планировка техногенных образований проводилась

бульдозером с навесным оборудованием и фронтальным погрузчиком с целью подготовки поверхности к землеванию в процессе подготовки к биологическому этапу восстановительных работ. Состав данных мероприятий включает планировку поверхности отвалов и днищ карьерных выемок, участков плоскостных нарушений с созданием рельефа, приближенного к уклонам естественных элементов ландшафта. Для предотвращения развития эрозионных процессов и обеспечения безопасного передвижения техники откосы нарушенных участков разваливались и выполнялись до углов, не превышающие 20°. После завершения горнотехнического этапа выполняется землевание поверхности и формирование корнеобитаемого слоя на техногенных образованиях. Из-за маломощности почвенного слоя и дефицита потенциально-плодородных пород проводилось полосное землевание поверхности рекультивируемого техногенного образования не менее, чем на 50 % его площади. Рыхление рекультивационного слоя является заключительной операцией по подготовке поверхностей нарушенных элементов горного ландшафта к биологическому этапу восстановительных работ. Оно выполнялось грейдером CAT 14G или легким бульдозером с многорядным навесным рыхлителем на глубину не менее 0,25 м непосредственно перед посевом.

Целью биологического этапа рекультивации



Рис. 2. Заготовка почво-грунтов для формирования корнеобитаемого поверхностного слоя на породных отвалах

Таблица 1. Физико-химические свойства вскрышных отвалов континентальных районов Магаданской области

Объект	Глубина образца см	pH KCl	Гумус, %	Гидролитическая кислотность	Обменные формы		V, %	Подвижные формы		Содержание фракций	
					CA	MG		NO3	P2O5	<0.01	<0.001
					мг-экв/100 г			мг/100 г		мм	
1	0-20	6.0	3.1	2.6	5.4	1.6	73	0.2	84	31	5
2	0-20	4.2	5.3	6.5	3.8	1.2	43	0.4	72	15	4
3	0-20	4.6	-	2.9	2.6	1.8	60	0.4	39	8	4
4	0-20	4.8	-	4.6	4.2	1.2	54	0.2	24	14	3
5	0-20	3.7	5.1	11.7	5.4	0.8	36	0.5	9	34	18
6	0-20	4.2	4.3	7.9	5.8	2.2	50	16.8	17	33	19

Примечание: - не определялось

Таблица 2. Состав органического вещества вскрышных отвалов континентальных районов Магаданской области, % к „С” общ

Объект	Глубина, см	С общ.	N общ.	C:N	Гуминовые кислоты	Фульво-кислоты	ОСТАТОК	С.г.к. С ф.к.	
								C общ.	N общ.
1	0-20	1.83	0.12	15.2	12.9	38.8	48.3	0.33	
2	0-20	3.11	0.13	23.9	30.5	41.9	27.6	0.73	
5	0-20	2.95	0.11	26.8	24.1	40.1	35.8	0.60	
6	0-20	2.52	0.16	15.8	18.8	51.7	29.5	0.36	

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в вскрышных отвалах континентальных районов Магаданской области, 10⁻⁴%

Объект	Глубина образца, см	Класс опасности *				
		1		2		3
		Pb	Zn	Ni	Cr	Sr
1	0-20	25	103	32	39	162
2	0-20	13	96	26	22	163
3	0-20	12	101	42	90	227
4	0-20	48	166	87	162	259
5	0-20	27	132	47	88	184
6	0-20	23	153	67	101	204

Примечание: *- по ГОСТ 17.4.1.02-83

является формирование растительного покрова, наиболее эффективно выполняющего противоэрозионные и водорегулирующие функции. При этом создаются условия для самовозобновления травяной и древесно-кустарниковой за счет наноса семян из примыкающих участков с естественной растительностью. В технологию биологической рекультивации включается гидропосев адаптированного семенного материала с использованием гидросеяния FINN T-90 на базе автомобилей повышенной проходимости (КАМАЗ или Урал). Комплекс минеральных удобрений вносится на рекультивируемые площади в растворенном виде одновременно с посевом семян.

Опытно-промышленные испытания разработанной технологии биологической рекультивации показали, что наиболее эффективен посев семян однолетних (овес посевной) и многолетних видов местной флоры, в основном пырейников и лиственницы. В дальнейшем ежегодно, в течении вегетационного периода выполнялись мероприятия по уходу за посевами. При этом формирующаяся растительность обогащается за счет естественного внедрения аборигенных видов из прилегающих природных комплексов.

Использование данной технологии позволяет полностью стабилизировать поверхность и повысить устойчивость техногенных образований,

минимизировать геохимическое загрязнение природных комплексов, включая водные экосистемы, что подтверждается данными проводимого предприятием экологического мониторинга. Рекультивационные работы могут выполняться как в пределах всего техногенного комплекса путем сплошных восстановительных работ, так и фрагментарно на отдельных техногенных элементах (участках) с применением приемов полосной рекультивации для содействия естественному восстановлению и развитию на них устойчивого растительного покрова.

Таким образом, биологический этап рекультивации рудных месторождений должен базироваться на предпочтительном использовании видов местной флоры. В связи с большим разнообразием почвенно-климатических условий интродуценты должны изыскиваться на площадях, максимально приближенных к территории проведения восстановительных работ. Эксперименты и опытно-промышленные испытания разработанной технологии биологической рекультивации позволяют утверждать, что использование типовой горной техники, гидросеятеля и видов местной флоры обеспечивают ускоренную стабилизацию поверхности техногенных участков, их повышенную устойчивость к эрозионным процессам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тихменев Е.А., Тихменев П.Е.* Закономерности формирования растительного покрова на нарушенных землях месторождения «Кубака» и проблемы рекультивации // Университетский комплекс – стратегический фактор социально-экономического разви-
2. *Моторов О.В., Замощ М.Н., Галанин А.А.* Геотермические эффекты при промерзании отвалов пустых пород в горных районах криолитозоны (на примере золото-серебрянного месторождения Кубака, Магаданской области) // Наука Северо-Востока России – начало века. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти академика К.В. Симакова в честь его 70-летия (Магадан, 26-28 апреля 2005 г.). Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2005. С. 395-399.
3. *Пугачев А.А., Тихменев Е.А., Тихменев П.Е.* Региональные особенности восстановления техногенных ландшафтов Северо-востока Азии // Проблемы региональной экологии. № 5. 2004. С.55-64.
4. *Пугачев А.А., Тихменев П.Е.* Биологический круговорот и почвообразование в экосистемах горных тундр Крайнего Севера-Востока Азии // Сибирский экологический журнал. № 5. 2005. С.885-897
5. *Антропогенная динамика растительного покрова Арктики и Субарктики: принципы и методы изучения* // Труды Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. 1995. Вып.15. 185 с.
6. *Пугачев А.А., Тихменев Е.А.* Состояние, антропогенная трансформация и восстановление почвенно-растительных комплексов Крайнего Севера-Востока Азии: научно-методическое пособие. Магадан : изд-во СВГУ. 182 с.
7. *Тихменев П.Е.* Техногенез ландшафтов и восстановление лесных экосистем бассейна р. Омолон // Лес-2010. Мат. XI международной научно-технической интернет-конференции (1 мая- 1 июня 2010 г., г.Брянск.). Брянск: БГИТА 2010. С.129-133.
8. *Тихменев П.Е., Тихменев Е.А.* Репродуктивный потенциал растений и вопросы восстановления нарушенных ландшафтов бассейна р. Колыма Вестник Северо-Восточного госуниверситета. Вып. 9. 2007. С.105-111.
9. *Пугачев А.А., Тихменев Е.А., Тихменев П.Е.* Естественное восстановление техногенных ландшафтов лиственничных редколесий Северо-Востока России // Экология. № 6. 2005. С. 32-38.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE ANTIEROSION REVEGATION OF ORE GOLD DEPOSITS OF CRYOLITOZONE

© 2012 E.A. Tikhmenev¹, P.E. Tikhmenev²

¹Institute of Biological Problems of the North of FEB RAS, North-Eastern State University, Magadan

²Administration of Magadan Region

Experiments and trial tests of the developed technology biological reclamation have shown high efficiency of a recovery disturbed area in the specific conditions of permafrost region. Use strip drift on and the seeds of species of the local flora brought by the hydroseeder together with dissolved mineral fertilizers, is provided the accelerated stabilization of a surface of technogenic formations.

Key words: technogenic formation, biological reclamation, hydro seeding, local flora

Eugeny Tikhmenev, Candidate of Biology, Head of Geobotany Laboratory, Professor.
E-mail: etikhmenev@north-east.ru
Pavel Tikhmenev, Deputy Head of Ecology Control Section.
E-mail: nedra_tikhmenev@maglan.ru