

УДК 622.882:628.544:502.521
DOI 10.17513/use.38294

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ С ЗАХОРОНЕНИЕМ ТВЕРДЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ IV-V КЛАССОВ ОПАСНОСТИ

Потокина М.В., Стрекалова Т.А., Степанов А.Г., Веретнова Т.А., Будник Е.В.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: tstrekalova@sfu-kras.ru

В последнее время наличие значительных нарушенных площадей без предварительного снятия плодородного слоя почвы делает актуальным разработку альтернативных технологий рекультивации с использованием бытовых и промышленных отходов, в связи с этим открытые горные выработки могут использоваться для их захоронения. В данной работе рассмотрен отработанный карьер кирпичного завода г. Красноярск в качестве объекта рекультивации земель с захоронением твердых промышленных и коммунальных отходов IV–V классов опасности. Описан рассматриваемый участок, по результатам анализа свойств грунтов выделено два инженерно-геологических элемента. Изложен ход проведения рекультивации. Акцентировано внимание на том, что для восстановления продуктивности нарушенных земель необходимо было проведение биологического этапа рекультивации. По приведенным результатам оценки состояния атмосферного воздуха негативное воздействие на окружающую среду не выявлено. Результаты полевого обследования оценки почвенного покрова на объекте после проведения рекультивации показали, что содержание химических веществ не превышает ориентировочно допустимую концентрацию и предельно допустимую концентрацию содержания их в почве. Соблюдение нормативов качества почвенного покрова на границе территории объекта рекультивации подтверждает эффективность проведенных мероприятий по биологической рекультивации объекта. Установлено, что на объекте рекультивации сформирован оптимально организованный и экологически сбалансированный устойчивый ландшафт.

Ключевые слова: отработанный карьер, рекультивация, нарушенные земли, промышленные отходы, твердые бытовые отходы, технический этап, биологический этап

EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE LAND RECLAMATION PROJECT WITH DISPOSAL OF SOLID INDUSTRIAL AND MUNICIPAL WASTE OF HAZARD CLASSES IV AND V

Potokina M.V., Strekalova T.A., Stepanov A.G., Veretnova T.A., Budnik E.V.

Sibirian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: tstrekalova@sfu-kras.ru

Recently, the presence of significant disturbed areas without prior removal of the fertile soil layer makes it urgent to develop alternative reclamation technologies using household and industrial waste; in this regard, open mine workings can be used for their disposal. This paper examines a spent brick quarry in Krasnoyarsk is considered as an object for land reclamation with disposal of solid industrial and municipal waste of hazard classes IV–V. The area under consideration is described. Based on the soil properties analysis two geological engineering elements are allocated. The progress of reclamation is given. Attention is focused on the fact that in order to restore productivity of the disturbed lands it was necessary to carry out the biological phase of land reclamation. According to the atmospheric air condition assessments, no negative impact on the environment was identified. The results of the land cover assessment field survey after the reclamation at the site showed that the content of chemicals does not exceed the approximate permissible concentration or the maximum permissible concentration of their content in the soil. Compliance with soil cover quality standards at the border of the land reclamation territory confirms the efficiency of the biological reclamation measures taken at the site. It is determined that an optimally organized and ecologically balanced sustainable landscape was formed at the land reclamation site.

Keywords: exhausted quarry, spent quarry, depleted quarry, land reclamation, land reclamation, disturbed lands, industrial waste, municipal solid waste, technical stage, technical phase, biological stage, biological phase

Введение

По состоянию на 2023 г. в Красноярском крае площадь нарушенных земель составила 50 778,6 га, из них при разработке месторождений полезных ископаемых – 36 578,7 га. Нарушенными считаются земли, утратившие свою хозяйственную ценность или являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с нарушением почвенного покрова, гидрологического режима и обра-

зования техногенного рельефа в результате производственной деятельности [1].

При разработке месторождений полезных ископаемых требуется снятие плодородного слоя почвы, его складирование и дальнейшее использование, если по условиям восстановления этих земель должна быть проведена рекультивация для сельскохозяйственных, лесохозяйственных и других целей, требующих восстановления плодородия почв.

В большинстве случаев темпы рекультивационных работ значительно отстают от объемов нарушения земель, а применяемые технологии рекультивации имеют низкий уровень наукоёмкости и экологической эффективности, не позволяющей значительно снизить негативное влияние техногенных ландшафтов на прилегающие территории [2].

Наличие значительных нарушенных площадей без предварительного снятия и сохранения основных литогенных ресурсов рекультивации, таких как плодородный слой почвы и потенциально плодородные породы, делает актуальным разработку альтернативных технологий рекультивации с использованием бытовых и промышленных отходов, обладающих некоторыми полезными свойствами и способствующих ускорению почвообразовательных процессов, а вместе с тем и практически всего биогеоценоза. Открытые горные выработки могут использоваться для захоронения твердых бытовых и промышленных отходов IV–V классов опасности [3].

Цель исследования: оценить эффективность реализации проекта рекультивации земель с захоронением твердых промышленных и коммунальных отходов IV–V классов опасности.

Материалы и методы исследования

Предметом исследования является «Объект рекультивации земель с захоронением твердых промышленных и коммунальных отходов IV–V классов опасности в отработанном карьере 2-го кирпичного завода» г. Красноярск. Проект рекультивации данного объекта был разработан в 1998 году и предусматривал технический и биологический этапы рекультивации [4].

В результате реализации проекта должно произойти превращение индустриального пустыря в функционально организованный и экологически сбалансированный природный комплекс, готовый для рационального использования в соответствии с намеченным лесохозяйственным направлением рекультивации.

Рассматриваемый участок имеет вытянутую в плане форму в направлении север – юг. Длина участка около 1400 м, ширина – переменная, от 600 до 800 м. Северная граница участка проходит близко от зоны специального назначения, с запада прилегают неудобные для использования земли, с южной и юго-восточной стороны расположены дачные участки, с восточной – примыкают земли Березовского района.

Расстояние от границы карьера до селитебной застройки составляет 800 м. Расстояние до дачных участков при захоронении в карьере ТБО составляет 300 м. Санитарно-защитная зона в направлении жилой застройки составляет 500 м. Площадь рекультивации составляет 84 га, в том числе 20 га участка ТБО, срок эксплуатации которого 13 лет. Количество захораниваемых (уплотненных) отходов по проекту 2552 тыс. м³.

В геоморфологическом отношении изучаемая площадка находится в пределах надпойменной террасы р. Енисей. Первоначальный рельеф на территории площадки не сохранился, т.к. в процессе техногенной деятельности территории представляет собой отработанные карьеры. В бортах и со дна отработанных карьеров до разведанной глубины 10,2 м залегают суглинки твердые, полутвердые просадочные с линзами тугопластичных, от светло-коричневых до коричневых. С поверхности до глубины 0,5–0,9 м суглинки перекрыты насыпными грунтами, представленными бытовым мусором. Частично сохранился почвенно-растительный слой мощностью 0,3–0,5 м. Суглинки просадочные с глубины 10 м (абс. отм. 249,82 м) подстилаются суглинками твердыми непросадочными, коричневыми. Вскрытая мощность их составляет 3,8 м. По результатам анализа пространственной изменчивости частных показателей свойств грунтов, определенных лабораторными методами, с учетом геолого-литологических особенностей, в пределах изучаемой площадки выделено 2 инженерно-геологических элемента (ИГЭ):

- ИГЭ-I – суглинки твердые, полутвердые, просадочные, светло-коричневые, коричневые;

- ИГЭ-II – суглинки твердые, непросадочные, коричневые.

Грунты в пределах площадки незасоленные, без включения органических остатков, обладают средней и высокой коррозионной активностью. Подземные воды до глубины 14,0 м не встречены. Для определения коэффициента фильтрации грунтов в полевых условиях выполнены опытные наливывы. Коэффициент фильтрации первого инженерно-геологического элемента равен 0,009 м/сут. Нормативная глубина сезонного промерзания составляет 2,5 метра.

По климатическим условиям территория карьера расположена в зоне небольшого разрыва годового количества осадков над испарением, не превышающем 100 мм.

В этом случае при влажности ТБО менее 52% к основанию полигона не предъявляются требования по водонепроницаемости.

В связи с тем, что участок расположен в пределах города, было выбрано лесохозяйственно-озеленительное направление рекультивации с целью восстановления и формирования ландшафта, увеличения лесного фонда, оздоровления окружающей среды, защиты земель от эрозии [4].

Начиная с 1998 г. проводилась рекультивация отработанного карьера твердыми промышленными отходами IV класса совместно с твердыми бытовыми отходами. На 01.08.2020 г. (прекращение эксплуатации объекта ОРО) остаточная ёмкость объекта до проектных отметок составила 545 733 м³.

Поступающие твердые бытовые отходы укладывались строго на рабочей карте или на разгрузочной площадке, сдвигались и укладывались методом «надвига» слоями, толщиной 0,25-0,5 м и уплотнялись проходкой бульдозера 4 раза.

Укладка отходов производилась ярусами высотой 2 м. Отсыпка последнего яруса велась по картограммам. В качестве изолирующего материала применялся местный грунт и промышленные отходы 4 класса опасности, принимаемые для рекультивации.

Промышленные отходы, используемые для изоляции бытовых отходов, должны иметь не крупную фракцию, уплотняемость, но не пылящие. В зимнее время изоляцию бытовых отходов разрешается проводить снегом. В случае использования других изолирующих материалов, кроме грунта, служба эксплуатации должна контролировать объем отработки котлованов последующих карт [4].

Таким образом, технический этап включал в себя заполнение выработанных емкостей и общую планировку участка; заполнение выработанных пространств твердыми отходами с промежуточной и окончательной изоляцией их чистым грунтом, технология их захоронения была разработана как устройство полигона; укладка отходов и изоляции проводилась слоями с уплотнением и разравниванием; верхний ярус отходов и окончательная изоляция укладывалась строго по картограммам, для создания плавной поверхности на всей площади рекультивации; общей планировкой площади рекультивации по окончании всех работ достигнуто восстановление уклона естествен-

ной поверхности с нормальным поверхностным стоком ливневых и талых вод [5].

Биологический этап начинался сразу после окончания технического этапа и до передачи участка землепользователям предусматривал подготовку почв, озеленение территории, посадку деревьев и кустарников, уход за зелеными насаждениями. Включал в себя мероприятия, необходимые для предохранения восстановленных земель от ветровой и водной эрозии и для создания зелёной зоны: по периметру карьера предусмотрена зеленая зона из однорядных посадок кустарников и деревьев; на территории хозяйственной зоны проводилось благоустройство и озеленение, включающее посадки кустарников; создание почвенного слоя на всей территории восстановленных земель в объёме, достаточном для создания условий самозарастания и создания дернового слоя [5].

Все эти мероприятия соответствуют и достаточны для принятого направления рекультивации – лесохозяйственно-озеленительного, цель которого создать оптимально организованный и экологически сбалансированный устойчивый ландшафт.

Эффективность работ по рекультивации нарушенных земель зависит от характера функционального освоения участков и выбора направления их дальнейшего использования [6].

Эффективность реализации проекта можно определить, исходя из следующих аспектов:

- использование восстановленного участка в лесохозяйственных целях – функциональный аспект и одновременно социальный аспект;
- восстановление ландшафта с включением в него таких элементов, как плавный рельеф и озеленение с созданием открытой зелёной зоны и рядовых посадок деревьев – эстетический аспект;
- создание зеленых насаждений, которые образуют микроклимат на площадке, способствует защите дачных участков от вредного влияния промышленных выбросов, а также очистке и оздоровлению атмосферного воздуха – санитарно-гигиенический аспект;
- превращение несанкционированной свалки, откуда могли идти загрязнения, в устойчивый природный комплекс, с одновременной очисткой города от отходов – экологический аспект. В проекте также предусмотрены все необходимые природно-охранные мероприятия на период производства работ.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты полевого обследования объекта рекультивации

В 2022 г. произведено обследование объекта рекультивации, в ходе которого установлено:

- на участке мощность плодородного слоя почвы составляет от 15 до 30 см;
- проективное покрытие травянистой растительности составляет от 85 до 100%, растения развиваются нормально;
- на обследованном участке отходов не обнаружено;
- рельеф земельного участка преимущественно ровный, без резких перепадов высот (рисунок);
- заболачивание не обнаружено, уклон естественной поверхности способствует формированию водно-воздушного режима почв, оптимального для роста и развития растений на указанном участке.

При маршрутных обследованиях территории полигона фиксировались обнаруженные на поверхности почвы членистоногие, а также следы их развития, что свидетельствует о том, что биологический этап рекультивации проходит успешно. Посев травянистых растений был произведен; данная территория активно осваивается и используется широким спектром почвенных беспозвоночных. По мере задернения

поверхности почвы будет происходить обогащение видового состава почвенных беспозвоночных с одновременным увеличением их численности.

Результаты оценки состояния атмосферного воздуха на объекте рекультивации

Инструментальный и лабораторный контроль на границе «Объекта рекультивации земель с захоронением твердых промышленных и коммунальных отходов IV–V классов опасности в отработанном карьере 2-го Кирпичного завода» проводились Испытательным лабораторным центром Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в 2020-2022 гг.

Оценка качества атмосферного воздуха и динамика изменений проведена на основании установленных нормативов предельно допустимых концентраций химических веществ в атмосферном воздухе в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека среды обитания». Оценка по фоновым значениям показателей состояния компонентов природной среды не проведена в связи с тем, что для всех измеряемых показателей установлены нормативы предельно допустимых концентраций (табл. 1).



Отработанный кирпичный карьер 2 после рекультивации (2022 год)

Таблица 1

Оценка состояния атмосферного воздуха на территории объекта рекультивации и в пределах его воздействия на окружающую среду в период с 2020 по 2022 г.

№ п/п	Наименование компонента, мг/м ³	Точки отбора													
		Юго-западное направление (фон)		Северное направление		Северо-восточное направление		Северо-западное направление		Северо-восточное направление					
		2020 (т.1)	2021 (т.1)	2022 (т.5)	2020 (т.3)	2021 (т.3)	2022 (т.4)	2020 (т.4)	2021 (т.4)	2022 (т.1)	2020 (т.1)	2021 (т.1)			
1	Взвешенные вещества (пыль)	0,015±0,003	0,025±0,005	менее 0,04											
2	Дигидросульфид	-	менее 0,001	менее 0,001	-	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001	-	менее 0,001	менее 0,001	-	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001
3	Метан	менее 1	менее 1	1,0	менее 1	менее 1	менее 1	менее 1	менее 1	менее 1	менее 1	менее 1	менее 1	менее 1	1,2±0,2
4	Азота диоксид	0,001±0,0003	0,012±0,003	0,016±0,004	менее 0,001	0,031±0,008	0,016±0,004	менее 0,001	0,016±0,004	менее 0,001	0,016±0,004	менее 0,001	0,010±0,003	менее 0,001	0,036±0,009
5	Углерода оксид	0,1±0,02	менее 0,01	0,40±0,08	0,2±0,04	менее 0,01	0,40±0,08	менее 0,01	0,40±0,08	0,1±0,02	0,40±0,08	0,1±0,02	0,020±0,04	0,1±0,02	0,20±0,04

Таблица 2

Оценка почвенного покрова на границе территории объекта рекультивации по его периметру в период с 2020 по 2022 г.

№ п/п	Наименование компонента, мг/м ³	Точки отбора													
		Юго-западное направление (фон)					Северо-восточное направление								
		2020 (т.1)	2021 (т.1)	2022 (т.5)	2020 (т.4)	2022 (т.1)	2020 (т.4)	2021 (т.4)	2022 (т.1)	2020 (т.4)	2021 (т.4)	2022 (т.1)			
1	Свинец*	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20	менее 20
2	Свинец**	-	-	менее 2	менее 2	менее 2	-	-	-	-	-	-	-	-	менее 2
3	Никель**	-	-	менее 2	менее 2	менее 2	-	-	-	-	-	-	-	-	менее 2
4	Медь*	18,0±5,4	21,06±6,3	26,4±7,9	21,6±6,5	26,4±7,9	21,6±6,5	21,6±6,5	21,6±6,5	17±5	17±5	17±5	17±5	17±5	13,5±4,0
5	Медь**	-	-	менее 1	менее 1	менее 1	-	-	-	-	-	-	-	-	менее 1
6	Марганец*	550±165	179±54	578±173	490±147	578±173	490±147	490±147	490±147	92±28	92±28	92±28	92±28	92±28	440±132
7	Цинк*	53±16	34,6±10,4	58,5±17,6	58±17	58,5±17,6	58±17	58±17	58±17	21,0±6,3	21,0±6,3	21,0±6,3	21,0±6,3	21,0±6,3	36,5±10,9
8	Цинк**	-	-	3,30±0,99	-	3,30±0,99	-	-	-	-	-	-	-	-	менее 1
9	Ртуть*	0,028±0,013	0,031±0,014	0,028±0,013	0,029±0,013	0,028±0,013	0,029±0,013	0,029±0,013	0,029±0,013	0,030±0,014	0,030±0,014	0,030±0,014	0,030±0,014	0,030±0,014	0,018±0,008
10	Хром**	-	-	менее 2	-	менее 2	-	-	-	-	-	-	-	-	менее 2
11	Железо*	24300±7290	28352±5670	30938±3188	20400±6120	30938±3188	20400±6120	20400±6120	20400±6120	22327±4465	22327±4465	22327±4465	22327±4465	22327±4465	18789±3758
12	Кобальт*	-	-	менее 2	-	менее 2	-	-	-	-	-	-	-	-	менее 2
13	Мышьяк*	3,2±0,86	20,2±6,1	5,3±1,6	2,8±200,76	5,3±1,6	2,8±200,76	2,8±200,76	2,8±200,76	16,2±4,9	16,2±4,9	16,2±4,9	16,2±4,9	16,2±4,9	2,1±0,6
14	Нефтепродукты (суммарно)	-	-	77±19	-	77±19	-	-	-	-	-	-	-	-	55±14
15	pH солевой вытяжки	7,4±0,1	7,0±0,1	7,3±0,1	7,6±0,1	7,3±0,1	7,6±0,1	7,6±0,1	7,6±0,1	8,0±0,1	8,0±0,1	8,0±0,1	8,0±0,1	8,0±0,1	7,2±0,1

* Валовое (общее) содержание элемента; ** Подвижная форма элемента.

При анализе полученных результатов отмечены крайне незначительные колебания в концентрациях загрязняющих веществ в целом по объекту рекультивации, что не является показателем динамики изменений атмосферного воздуха на территории объекта рекультивации в период с 2020 по 2022 г. (учитывая в том числе различие периодов года и температурных режимов при отборе проб, а также факт отбора проб на границе объекта).

В целом, превышений установленных нормативов [7] по показателям, полученным при исследовании проб атмосферного воздуха, отобранных на границе объекта рекультивации по периметру данного объекта, не установлено, что свидетельствует об отсутствии негативного воздействия объекта рекультивации на качественный состав атмосферного воздуха.

Результаты оценки почвенного покрова на объекте рекультивации

Оценка качества и динамика изменений почвенного покрова проведена на основании установленных нормативных требований [7] и фоновых значений показателей состояния компонентов природной среды в почвенном покрове.

Качество почвенного покрова определялось с учётом установленных нормативов предельно допустимых концентраций химических веществ в почвенном покрове для химических элементов (валовая и подвижная формы), ненормируемых нефтепродуктов и железа, а также почвенной реакции среды рН (табл. 2).

По результатам проведенных исследований проб почвенного покрова, отобранных на границе объекта рекультивации, установлено, что содержание указанных химических веществ не превышает ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) и предельно допустимую концентрацию (ПДК) содержания их в почве в соответствии с [7], в результате чего отобранные образцы почвенного покрова соответствуют установленным нормативам по определяемым показателям.

Содержание в пробах контрольных точек ненормируемых химических веществ (железо, нефтепродукты) не превышает концентрацию таковых в сравнении с фоновыми показателями.

Главным маркером загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами, подлежащим обязательному контролю во всем мире, является бенз(а)

пирен – канцероген и мутаген I класса опасности. В результате анализа во всех пробах, отобранных на территории полигона и на его границах, концентрация бенз(а)пирена ниже уровня ПДК.

Таким образом, пробы (образцы) почвенного покрова соответствуют установленным нормативам и не превышают фоновое значение по всем показателям.

Соблюдение нормативов качества почвенного покрова на границе территории объекта рекультивации свидетельствует об отсутствии негативного воздействия такового на окружающую среду и подтверждает эффективность проведенных мероприятий по биологической рекультивации объекта.

Результаты оценки состояния подземных и поверхностных вод объекта рекультивации

Воздействие объекта рекультивации на поверхностные и подземные воды исключено, исходя из его территориального расположения, геоморфологии, геологического строения, а также отсутствия подземных вод по данным разведки (подземные воды до глубины 14,0 м не встречены) [3].

Заключение

На территории «Объекта рекультивации земель с захоронением твердых промышленных и коммунальных отходов IV–V классов опасности в отработанном карьере 2-го Кирпичного завода» г. Красноярска восстановлен ландшафт с включением в него таких элементов, как плавный рельеф и озеленение с созданием открытой зеленой зоны и рядовых посадок деревьев. Зеленые насаждения на площадке образуют микроклимат, который способствует защите дачных участков от вредного влияния промышленных выбросов, а также очистке и оздоровлению атмосферного воздуха. Негативное воздействие на окружающую среду не выявлено.

Таким образом, по всем аспектам эффективности реализации проекта рекультивации работы выполнены в полном объеме, указанные выше показатели полностью соответствуют нормам, установленным для данного вида земель. Сформирован оптимально организованный и экологически сбалансированный устойчивый ландшафт.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2022 году». Крас-

ноябрь, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849> (дата обращения: 06.06.2024).

2. Водолеев А.С., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю. Организационные и технологические альтернативы рекультивации техногенно нарушенных земель // Экологический бюллетень ИнЭКА. Том 4 (129). Новокузнецк, 2008. С. 26-28.

3. Ермаков А.Ю., Сенкус В.В., Потокина М.В., Сенкус Вал.В. Рекультивация открытых горных выработок с использованием твердых бытовых и промышленных отходов, необработанных и переработанных остатков сточных вод // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 4. С. 409-414.

4. Потокина М.В. Рекультивация нарушенных земель при открытых горных работах с захоронением промышленных отходов и утилизацией осадков сточных вод: дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2018. 186 с.

5. ГОСТ 17.5.3.04–83 Охрана природы (ССОП). Земли. Общие требования к рекультивации земель. М.: Изд-во стандартов, 1984. 11 с.

6. Соколова А.А., Мигова А.А. Народнохозяйственная значимость рекультивации земель как направления восстановления нарушенных земель // Основные принципы развития землеустройства и кадастров: материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. Новочеркасск, 2022. С. 91-94.

7. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/400274954/> (дата обращения: 06.06.2024).