

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА НАПРАВЛЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

С. В. Корнилков<sup>1</sup>, Н. Ю. Антонинова<sup>1</sup>, Л. А. Шубина<sup>1</sup>, Ю. О. Славиковская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,  
Екатеринбург, Россия

**Аннотация:** Использование земельных ресурсов в производственном цикле горного предприятия неизбежно сопровождается появлением нарушенных земель и обязанностью последующего их восстановления после окончания ведения горных работ. Выбор направления рекультивации основан на особенностях нарушения структуры земель, экологической и экономической целесообразности их восстановления до достижения возможности использования в соответствии с требованиями нормативной документации. Методами полевых и камеральных исследований проведен эколого-экономический анализ месторождения антрацита Горловское-1, где были рассмотрены: особенности геологической структуры; сукцессионный потенциал экосистемы; социальные потребности района расположения; варианты рекультивационных мероприятий. Большая часть территории месторождения Горловское-1 формирует техногенный ландшафт, оставшийся от ранее проводимых горных работ. Наибольшие абсолютные отметки +257,0 м (абс.) приурочены к отвалам вскрышных пород, заросшим сорными травами, березовой и сосновой порослью. Рассмотренные альтернативные варианты рекультивации показали, что меньшее воздействие на окружающую среду будет оказано при выборе варианта, предполагающего: а) использование механизма самовосстановления растительности; б) заполнение карьерной выемки подземными и поверхностными источниками, что позволит создать зону отдыха и рыбалки для окружающих населенных пунктов. Особенно рассматриваемого варианта затопления выработанного пространства месторождения Горловское-1 является отвод части р. Выдриха в выработанное пространство. На основании выполненных исследований и проведенного сравнительного анализа вариантов рекультивационных работ по критерию минимизации затрат обосновано экономически целесообразное и экологически приемлемое направление восстановления нарушенных отработкой месторождения природных экосистем. Показана экономическая предпочтительность варианта рекультивации в водохозяйственном направлении.

**Ключевые слова:** рекультивация, месторождения полезных ископаемых, карьер, грунтосмеси, самозарастание, водохозяйственное направление, техногенный ландшафт, закладка выработанного пространства, ущерб, экономические затраты.

**Для цитирования:** Корнилков С. В., Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А., Славиковская Ю. О. Экологические аспекты выбора направления рекультивации при отработке месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5–2. — С. 218–230. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_218.

---

## Ecological aspects of choosing a reclamation scenario in mineral mining

S. V. Kornilkov<sup>1</sup>, N. Yu. Antoninova<sup>1</sup>, L. A. Shubina<sup>1</sup>, Yu. O. Slavikovskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

---

**Abstract:** The use of land resources in the production cycle of a mine is inevitably accompanied with land disturbance and its obligatory restoration after cessation of mining operations. Selection of reclamation activities is based on the peculiarities of land disturbance and on the ecological and economic feasibility of restoration of lands up to their usability in accordance with the requirements of regulatory documents. The ecological and economic analysis of Gorlovka I anthracite deposit was carried out using the methods of field and laboratory research. The scope of the analyses embraced geological structure, self-restoring capacity of nature, social needs in the locality and some reclamation scenarios. The most territory of Gorlovka I field represents the manmade post-mining terrain. The highest elevations of +257.0 m (abs.) are recorded at overburden dumps overgrown with weeds, birch and pine growth. The alternative reclamation options considered show that least ecological impact is achievable in a scenario which ensures: a) the use of the vegetation self-recovery mechanism; b) filling the open pit with water from underground and surface springs to create a recreation and fishing area for the surrounding settlements. A feature of the considered variant of the open pit void flooding in Gorlovsky I field is the diversion of a part of the river to the pit void. Based on the implemented research and the comparative analysis of the reclamation alternatives based on the cost minimization criterion, the economically feasible and environmentally acceptable scenario of restoring the natural ecosystems disturbed by mining operations is justified. The economic preference of the reclamation scenario in water management is shown.

**Key words:** reclamation, mineral deposits, open pit mine, soil mixtures, self-infestation, water management, manmade landscape, backfill, damage, economic costs.

**For citation:** Kornilkov S. V., Antoninova N. Yu., Shubina L. A., Slavikovskaya Yu. O. Ecological aspects of choosing a reclamation scenario in mineral mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):218–230. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_218.

---

### Введение

Одним из основных аспектов рационального природопользования является выбор направления рекультивации, определяющий регламент необходимых одноимённых работ [1–8]. Направление рекультивации земель, нарушенных хозяйственной деятельностью, выбирают с учетом характера их нарушения [9], эколого-экономической целесообразности восстановления их качественного состояния для дальнейшего целевого использования и разрешенного назначения. Проект и регламент рекультивации разрабатываются в соответствии с требованиями актуальной на сегодняшний день норма-

тивной документации, в том числе ГОСТ Р 59057–2020 «Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования к рекультивации земель», ГОСТ 57446–2017. «НДТ. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков» с учетом как природно-климатических условий, фактического состояния качественного состава грунтосмесей в отвалах, технологии и механизации горных работ, так и перспективы развития района и основных направлений использования земель, рекультивированных после окончания разработки месторождения.

Необходимость проведения рекультивации связана с необходимостью

ликвидации потенциального негативного воздействия нарушенных земель на состояние окружающей среды, главным фактором которого является нарушение дневной поверхности в связи с началом эксплуатации месторождения [10 – 15].

Нормативными документами определены следующие основные направления рекультивации как аккумулятивных (отвалы вскрышных пород), так и денудационных форм рельефа (карьерная выемка): сельскохозяйственное – под пашню, сенокосы, пастбища, многолетние насаждения; лесохозяйственное – с созданием лесонасаждений общего хозяйственного и полезащитного назначения, лесопитомников; рекреационное – создание зон отдыха и спорта, охотничьих угодий и т. п.; природоохранное, санитарно-гигиеническое рекреационное и строительное.

### Объект исследований

Выбор направления рекультивации определяется индивидуально для каждого из техногенно-нарушенных объ-

ектов с учетом категории земель, на которых они расположены, технологии отработки и перспектив социально-экономического развития района.

В качестве примера приведены основные положения по рекультивации Горловского-1 месторождения антрацита в Новосибирской области (рис. 1). В административном отношении разрез «Горловский» расположен на территории Искитимского района Новосибирской области РФ. Ближайшими населенными пунктами являются: деревня Горлово, расположенная в 3 км на северо-западе от поля разреза, деревня Харино – в 5 км на север, деревня Девкино – в 8 км на северо-восток и село Белово – в 5 км на юго-восток.

Территория, прилегающая к месторождению Горловского-1, занята сельскохозяйственными угодьями (сенокосы, пастбища, пашни), принадлежащими фонду перераспределения земель Искитимского района, и лесными участками, находящимися в ведении Искитимского лесничества.

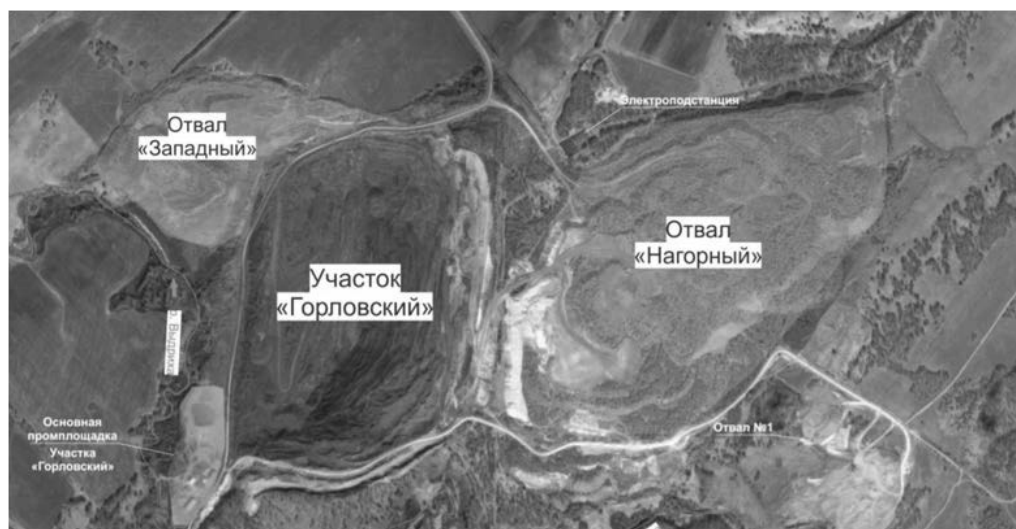


Рис. 1. Ситуационный план положения участков недр месторождения Горловское-1  
Fig. 1. Situational plan of the position of the subsurface areas of the Gorlovskoye-1 field

Рельеф поверхности Горловского-1 месторождения представляет собой степное плато, расчлененное эрозийной деятельностью речки Выдрихи, которая огибает его южную и западную границы. Максимальные абсолютные отметки поверхности (172–184 м) принадлежат водоразделу речки Выдрихи, минимальные (140 м) — ее долине. Месторождение расположено на её правом возвышенном берегу, полого опускающемся к долине. Согласно ст. 65 Водного кодекса Российской Федерации, ширина водоохранной зоны рек или ручьев с протяженностью водотока от 10 до 50 км составляет 100 м. Поскольку длина реки Выдриха составляет 38 км, то принятая ширина ее водоохранной зоны составляет 100 м.

Большая часть территории месторождения Горловское-1 формирует техногенный ландшафт, оставшийся от ранее проводимых горных работ. Наибольшие абсолютные отметки +257,0 м (абс.) приурочены к отвалам вскрышных пород, заросшим сорными травами, березовой и сосновой порослью (рис. 2).

Реакция среды вмещающих, вскрышных пород изменяется в пределах от слабокислой до слабощелочной (рН водной суспензии 5,66–8,2).

Четвертичные отложения на территории карьерного поля распространены неравномерно, и изменяются по мощности от 0 до 15 м. В северной части поля они отсутствуют, в восточной — их мощность минимальна, а к югу и западу, т. е. к р. Выдриха, она постепенно увеличивается до 15 м. Средняя мощность четвертичных отложений в поле разреза составляет 5 м. Они представлены в основном желтовато-бурыми, реже бурыми и светло-серыми суглинками, иногда комковатыми лесовидными суглинками, залегающими непосредственно под почвенно-растительным слоем на породах палеозоя и коры выветривания на поле разреза.

Согласно проведенным ИГД УрО РАН исследованиям, вмещающие породы месторождения Горловское-1 нетоксичны. Это также определяет их потенциальную пригодность для биологического освоения и естественного поселения на них травянистой и древесно-кустарниковой растительности, что и подтверждается наличием участков самозарастания (рис. 2).

### **Основная часть.**

#### **Обоснование выбора направления рекультивации**

Анализ специфических особенностей и условий, характеризующих



*Рис. 2. Фрагменты участков самозарастания на месторождении Горловское-1*  
*Fig. 2. Fragments of self-healing sites at the Gorlovskoye-1 field*

район Горловского-1 месторождения, дает основание для следующих выводов по направлению рекультивации:

1. Проектирование сельскохозяйственной рекультивации объектов Горловского-1 месторождения не рационально в связи с высокой антропогенной нагрузкой, которой будет сопровождаться не только весь период обработки Горловского-1 месторождения, так как по промплощадке проходит углевозная дорога, связывающая угольные разрезы с обоганительной фабрикой. Необходимо также учитывать отсутствие дефицита пахотных земель на ненарушенных ландшафтах района, т. е. восстановление нарушенных земель до указанного качества не требуется.

2. Согласно требованиям ГОСТ Р 59060—2020 конструкция внешних отвалов и их геометрические параметры попадают под категорию высоких отвалов (от 30 до 100 м включительно), вид использования которых предопределен как лесонасаждения и задернованные участки природоохранного назначения.

Создание искусственных насаждений для целей хозяйственного, защитного, рекреационного или санитарно-гигиенического назначения также не рационально в связи с расположением месторождения среди естественных лесных массивов. Существующее проективное покрытие близлежащих участков составляет более 80 %, а расположенные на расстоянии до 500 м древесные формы березы повислой и сосны обыкновенной имеют значительный семенной потенциал. Согласно исследованиям [16] предел рассеивания диаспор, замеченных по трассе полевого обследования березы повислой и сосны обыкновенной составляет до 0,5 км. Поэтому создание искусственных лесонасаждений

на прикарьерной территории не рационально в связи с расположением вблизи участков естественных сохранившихся ценозов.

3. Исследованиями установлено, что равнинно-волнистый рельеф наиболее благоприятен для закрепления семян и последующего произрастания древесно-кустарниковой растительности, а продуктивность лесов возрастает в 1,5—2 раза на площадях с бугристой поверхностью, обеспечивающей не только закрепление семян, но и формирование более сложных по составу, а следовательно, более устойчивых и продуктивных экосистем [17].

В связи с этим одной из задач является создание экологически безопасного устойчивого ландшафта с целью предотвращения водной, воздушной эрозии и восстановления растительного покрова, который наиболее рационально увязать с растительным окружением рекультивируемых земель, что повлечет за собой быстреее оздоровление сложившейся экологической обстановки.

С учетом перечисленных факторов, а также требований нормативных документов, были обозначены природоохранное, путем самозаращения территории древесными жизненными формами и водохозяйственное направления рекультивации нарушенных земель. Природоохранное направление предусматривает предварительную мелиоративную подготовку обработанной территории с последующим самозаращением древесно-кустарниковыми жизненными формами поверхности и откосов внешнего отвала, верхних уступов карьера, объектов водоотведения и др. Вскрышные породы Горловского месторождения нетоксичны, а полосное рыхление корнеобитаемого слоя в связи с уплотнением пород при фор-

мировании автоотвалов способствует активизации процесса самозарастания за счет улучшения аэрации и увлажнения, улучшения условий закрепления семян при зарастании отвалов, а также возобновлению почвообразовательных процессов на нарушенных территориях. Все вышеперечисленное способствует формированию благоприятных условий для выращивания леса.

Исследования процессов лесовосстановления, в том числе естественным путем, получили продолжение в нашей стране с начала развития рекультивационных работ, определенных законодательно в 1976 г. Постановлением Совета Министров СССР № 407 «О рекультивации земель...».

Результаты исследований методов и направлений лесовосстановления техногенных ландшафтов получены крупным новосибирским учёным Трофимовым С. С. для объектов добычи разных видов сырья, расположенных в различных условиях и природно-климатических зонах. Им была обоснована возможность естественного лесовосстановления для условий и Западной, и Восточной Сибири. Отмечено не только различие объектов рекультивации, но и их географическое расположение — за Полярным кругом (Норильск), в степях Хакасии или Тувы, в горной тайге. Установлено, что отвалы разрезов Южного Кузбасса как транспортные, так и бестранспортные могут быть оставлены под самозарастание. Нецелесообразность биологической рекультивации установлена и для отвалов угольных месторождений Тувы, зарастающих полупустынными видами местной флоры.

Доказано, что для разных природных зон и типов отвалов темпы естественного лесовосстановления отличаются незначительно, а в некоторых случаях превосходят таковые на зональных

почвах. Важнейшим условием этого является наличие и близость источников обсеменения. Формируются сомкнутые лесные фитоценозы, не требующие активного вмешательства человека для восстановления их продуктивности. Зональный аспект лесовосстановления на нарушенных землях — характерная черта самозарастания отвалов вскрышных пород на Урале, в Приамурье, Приморье, на Кольском севере, в Сибири [18].

Главными факторами, определяющими приоритет естественного восстановления нарушаемых земель при отработке Горловского-1 месторождения являются следующие:

- расположение карьера и всех сопутствующих добыче полезного ископаемого объектов в окружении лесных массивов. Автоотвалы вплотную примыкают к естественным лесным массивам (рис. 1, 2), и первые ярусы их уже интенсивно зарастают древесными породами (рис. 2), хотя формирование отвалов еще не закончено;

- относительно благоприятный механический и химический состав пород вскрыши, в которых не выявлено засоления. Отсутствие биогенных компонентов — гумуса и азота объясняется отсутствием их в глубинных слоях Земли. В целом, биологическая активность грунтосмесей будет возрастать при поселении растительности, под влиянием солнечного излучения и увеличения подвижности всех элементов в породах вскрыши, т. е. под влиянием общего круговорота вещества и энергии в биосфере.

Водохозяйственное направление включает затопление карьерного пространства, которое может использоваться как водоем многоцелевого назначения, при этом его откосы, прилегающие к поверхности, остаются под самозарастание.

Водохозяйственное направление рекультивации является одним из самых распространенных направлений, характеризующих заключительный этап открытых горных работ. Затопление карьерной выемки возможно посредством как самозатопления, так и за счет отвода поверхностного водотока [13].

Элементный состав Горловских антрацитов довольно постоянен: содержание углерода в пересчете на горючую массу 93–96 %, водорода 1,75–2,15 %, азота и кислорода 1,9–2,3 %. Угли малосернистые, содержание серы в среднем составляет 0,3 %. Сера в основном представлена органической разностью, сульфатная разность составляет незначительную долю, сульфидная — следы. Исследованиями, проведенными Анжерской геологоразведочной партией, установлено, что в углях разреза «Горловский» концентрации меди, свинца, никеля, бериллия, бария, титана, марганца, галлия, циркония присутствуют в количествах, редко превышающих их Кларк в осадочных породах. Спорадически встречаются серебро, германий, висмут, мышьяк, кадмий, скандий, лантан, литий и селен. Наличие остальных элементов не выявлено. Следовательно, содержания токсичных компонентов не превышают предельно допустимых, а значит угли не являются токсически опасными.

Особенностью рассматриваемого варианта затопления выработанного пространства Горловского-1 месторождения является отвод части р. Выдриха в выработанное пространство. Для организации равномерного затопления карьерной выработки и предотвращения размыва бортов карьера необходимо организовать забор части стока р. Выдриха в объеме 25 % от среднегогодового расхода реки. Рациональная

отметка затопления карьерной выемки определена из условий исключения переполнения отработанного пространства с учетом минимальных отметок поверхности (148,0–149,0 м) со стороны западного борта и безопасного спуска к воде с отметкой зеркала воды +146,0.

Во избежание размыва борта карьера, сложенного четвертичными отложениями, выпуск водотока р. Выдриха в карьер предусмотрен по существующим автомобильным съездам. Место сброса речных вод в карьер размещено ниже подошвы развития четвертичных отложений. Место выпуска воды определено в р. Выдриха в абсолютной отметке выпуска воды +146, расположенной на западном борту карьера. Перед затоплением выработки выполняются работы по благоустройству территории вокруг водоема и оформлению бортов. Эти работы заключаются в приведении откосов надводной части в устойчивое положение.

В составе промысловой ихтиофауны реки Бердь, к бассейну которой принадлежит река Выдриха, являясь её левым притоком первого порядка, наблюдаются как местные виды рыб — обыкновенная щука, обыкновенный окунь (окунь пресноводный), обыкновенный ерш (ерш пресноводный), елец сибирский, плотва сибирская, серебряный карась, — так и акклиматизанты — елец и обыкновенный судак.

Ихтиофауну же реки Выдриха представляют мелкие частичковые виды рыб (елец сибирский), плотва сибирская, обыкновенный окунь, голян обыкновенный, сибирский пескарь. Большая часть рыб держится в реке только в весенне-летний период, а осенью скатывается в р. Бердь. Для плотвы, ельца, окуня, ерша, карася и других мелководных видов условия обитания вполне благоприятны. Проникновение круп-

ночастиковых рыб (щуки, язя, леща, судака) из р. Берди в реку Выдриха весьма проблематично.

Рыбопитомников и рыбохозяйственных заказников на реке Выдриха не имеется. Ввиду небольшой биологической продуктивности реки промысловых скоплений рыб здесь не возникает и промысел рыбы не проводится.

Одной из составляющих экологического риска и, как правило, ущерба рыбным ресурсам является влияние безвозвратных потерь воды за счет заполнения карьерной выемки водами реки Выдриха. Величина стока реки Выдриха сократится на величину забираемого стока (до 25 %), необходимую для затопления карьерной выемки. Для определения ущерба поверхностному водному объекту и оценки потенциального риска использование воды на нужды затопления карьерной выемки принимаем как безвозвратное водопотребление. Безвозвратное водопотребление составит 11 037 600,00 м<sup>3</sup> в год. Длительность периода, оказывающего негативное воздействие на водосборную поверхность, начинается в период отведения части стока для заполнения карьерной выемки и заканчивается по достижению уровня воды отметки +146 м. Период затопления горной выработки Горловского-1 месторождения будет продолжаться около 7 лет. Согласно прогнозу и проведенным ООО Центр развития рыбохозяйственного комплекса «Правый берег» расчетам, сокращение поверхностного стока вследствие безвозвратных потерь воды за счет заполнения карьерной выемки водами реки Выдриха составит 59 603,04 тыс. м<sup>3</sup> (безвозвратное водопотребление для заполнения карьерной выемки), а потери ихтиомассы при реализации мероприятий по рекультивации — 8 940,46 кг. Однако при надлежащем выполнении компенсационных

мероприятий по устранению последствий негативного воздействия планируемой деятельности на состояние водных биоресурсов и среды их обитания посредством выпуска молоди рыб в один из водных объектов Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна Обь-Иртышского района и мероприятий по защите компонентов природных ресурсов дополнительного негативного воздействия на водные объекты рассматриваемой территории удастся избежать.

Альтернативным вариантом рекультивации нарушенных в результате отработки месторождения земель является закладка выработанного пространства разреза вскрышными породами, размещенными в отвалах. Рекультивационный период в случае закладки выработанного пространства вскрышными породами будет сопровождаться негативным воздействием на атмосферный воздух. Основными источниками выбросов вредных веществ в атмосферу будут являться места погрузки, разгрузки и линии транспортирования складочного материала, сопровождаемые выбросом пыли, а также загрязняющими веществами, образующимися при работе двигателей задействованных машин и механизмов. Период рекультивации был принят равным периоду формирования отвалов вскрышных пород, а объем выбросов загрязняющих веществ приравнивается к объему, сопровождающему вышеуказанный технологический процесс.

Следовательно, в ходе выполнения сравнительного анализа затрат на проведение работ по рекультивации нарушенных горными работами земель рассматривались два альтернативных варианта:

вариант 1 предполагал рекультивацию нарушенных земель по водохозяйственному направлению, с последующим само-



зарастанием выложенных уступов, расположенных выше зеркала водоема;

вариант 2 — рекультивация нарушенных земель путём перемещения вскрышных пород из отвалов в выработанное карьерное пространство с последующим самозарастанием.

При выполнении расчетов руководствовались действующей нормативно-правовой базой и методической документацией [19–22]. Выбор наиболее эффективного варианта направления рекультивационных работ осуществлён на основе сравнительного анализа затрат. Стоимость работ определялась в рамках сметной документации по рекультивации данного объекта на основании МДС 81-35-2004 «Методика определения стоимости строительной продукции», Федеральных единичных расценок 2001 г. в редакции 2017 г., актуализация на момент выполнения расчетов произведена на основании Письма Минстроя России от 07.04.2020 N 13436-ИФ/09 О рекомендуемой величине индексов изменения сметной стоимости строительства в I квартале 2020 года.

При оценке экономической составляющей выбора направления рекультивации нарушенных земель в части затрат учитывались:

*вариант 1*

$$Z_{\text{общ.}} = Z_{\text{погр.-разгр.}} + Z_{\text{тр.}} + Z_{\text{пл.}} + Z_{\text{э.}} \quad (1)$$

*вариант 2*

$$Z_{\text{общ.}} = Z_{\text{погр.-разгр.}} + Z_{\text{тр.}} + Z_{\text{пл.}} \quad (2)$$

$Z_{\text{погр.-разгр.}}$  – затраты на выполнение погрузочно-разгрузочных работ, тыс. руб., определяются:  $Z_{\text{погр.-разгр.}} = Q_{\text{погр.-разгр.}} \times C_{\text{см.}} \times K_{\text{и.}}$ , где  $Q_{\text{погр.-разгр.}}$  – объем погрузочно-разгрузочных работ, млн т;  $C_{\text{см.}}$  – сметная расценка на данный вид работ, руб, определяется согласно [20];  $K_{\text{и}}$  – коэффициент индексации сметных расценок, доли ед. [21].

$Z_{\text{тр.}}$  – затраты на транспортировку вскрышных и вмещающих пород, а также потенциально-плодородного грунта, используемого для рекультивации нарушенной поверхности, тыс. руб., определяются по формуле:  $Z_{\text{тр.}} = Q_{\text{тр.}} \times C_{\text{см.}} \times K_{\text{и}}$ , где  $Q_{\text{тр.}}$  – объем вскрышных и вмещающих пород, а также потенциально-плодородного грунта, подлежащих транспортировке при рекультивации, млн т;  $C_{\text{см.}}$  – сметная расценка на данный вид работ, руб., определяется согласно [20];  $K_{\text{и}}$  – коэффициент индексации сметных расценок, доли ед. [21].

$Z_{\text{пл.}}$  – затраты на формирование рельефа и планировку поверхности тыс. руб.  $Z_{\text{пл.}} = S_{\text{пл.}} \times C_{\text{см.}} \times K_{\text{и}}$ , где  $S_{\text{пл.}}$  – площадь планировки поверхности, га;  $C_{\text{см.}}$  – сметная расценка на данный вид работ, руб., определяется согласно [20];  $K_{\text{и}}$  – коэффициент индексации сметных расценок, доли ед. [21].

$Z_{\text{э.}}$  – затраты на экранирование карьерной выемки в случае проведения рекультивационных работ по водохозяйственному направлению тыс. руб.  $Z_{\text{э.}} = S_{\text{э.}} \times C_{\text{мат.}} \times C_{\text{р.}}$ , где  $S_{\text{э.}}$  – площадь поверхности, подлежащей экранированию, га;  $C_{\text{мат.}}$  – стоимость экранирующих материалов, определяется согласно данным предприятий-производителей, млн руб.;  $C_{\text{р.}}$  – стоимость работ по экранированию карьерной выемки, может определяться согласно [20], или по согласованию с подрядной монтажной организацией.

Поскольку в ходе осуществления рекультивационных работ при затоплении выработанного пространства наносится ущерб водным биоресурсам в результате сокращения (перераспределения) естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна водных объектов, при выполнении сравнительной оценки учтены также и компенсационные затраты. При выполнении данных расчетов необходимо руководствоваться

Таблица 1

**Сравнительный анализ затрат на проведение рекультивационных работ по вариантам**  
**Comparative analysis of the cost of remediation works by options**

Показатель, млн руб.	Вариант 1	Вариант 2
Затраты на рекультивацию нарушенных земель	114,74	279,98
Затраты на компенсацию ущерба водным биоресурсам	4,5	---
ИТОГО:	119,24	279,98

методическими рекомендациями [22], согласно которым оценка ущерба производится следующим образом:

$$N = P_{\text{уд}} \times Q, \quad (3)$$

где  $N$  – потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг;  $P_{\text{уд}}$  – удельная рыбопродуктивность объема водной массы, кг/тыс. м<sup>3</sup>;  $Q$  – общее сокращение объема водного стока в процессе техногенного морфогенеза, являющееся суммой объемов безвозвратного водопотребления на технологические процессы, хозяйственно-бытовые нужды и пр. ( $Q_1$ ) и сокращения объема стока с деформированной поверхности  $Q_2$ , тыс. м<sup>3</sup>.

Сравнительный анализ затрат на проведение рекультивационных работ по двум вариантам представлен в табл. 1.

### Выводы

На основании выполненных исследований и проведенного сравнительного анализа вариантов рекультивационных работ по критерию минимизации затрат обосновано экономически целесообразное и экологически приемлемое направление восстановления нарушенных отработкой месторождения природных экосистем. Показана экономическая предпочтительность варианта 1, стоимость реализации которого состав-

ляет 119,24 млн руб., или 369,9 тыс. руб./га (для сравнения, стоимость реализации варианта 2: 279,98 млн руб. или 868,69 тыс. руб./га), несмотря на необходимость дополнительных затрат на компенсацию ущерба, наносимого водным биоресурсам в ходе реализации рекультивационных работ.

Таким образом, реабилитация земель, нарушенных открытыми горными работами, связана не только с необходимостью восстановления ландшафта, близкого к естественному, а также возвращения биологического разнообразия, но и с расходами на рекультивационные мероприятия, а также с компенсацией хозяйственных и социальных последствий организации использования территорий, возвращенных в хозяйственный оборот.

Статья подготовлена в рамках госзадания «Разработка методов геоинформационного мониторинга горно-геологических объектов с оценкой состояния горных предприятий как природно-технологических систем» (№ АААА-А19 – 119020790024 – 7) и госзадания «Методы учёта переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых» (№ АААА-А19 – 119020790025 – 4).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carter T. G., Miller R. I. Crown-pillar risk assessment-planning aid for cost-effective mine closure remediation // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy-Section A-Mining Industry. – 1995. – Т. 104. – С. А41.

2. *Gammons C. H. et al.* Creating lakes from open pit mines: Processes and considerations, emphasis on northern environments. – 2009.
3. *Larondelle N., Haase D.* Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach – An example from Germany // *Ecological Indicators*. – 2012. – Т. 18. – С. 567–574
4. *Antoninova N., Shubina L., Sobenin A., Usmanov A.* Modern aspects of disturbed land reclamation, В сборнике: *E3S web of conferences. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020)*. 2020. С. 03019.
5. *Рыбников П. А., Рыбникова Л. С., Максимович Н. Г., Демнев А. Д.* Исследование гидрогеологических условий угольных месторождений на постэксплуатационном этапе с использованием гидродинамического моделирования (на примере Кизеловского угольного бассейна, Западный Урал, Россия). // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, 2020. №3 – 1, С.475 – 487
6. *Корнилков С. В., Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А., Собенин А. В.* К вопросу об экологической реабилитации природной экосистемы, нарушенной при отработке Колыванского месторождения. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, 2020. №3 – 1, С.465 – 474.
7. *Yost R.* Probability-based risk assessment applied to slope stability analysis in reclamation of an open-pit mine // *Environmental & Engineering Geoscience*. – 2004. – Т. 10. – №. 3. – С. 217–228.
8. *Игнатьева М. Н., Пустохина Н. Г.* Восстановление нарушенных земель-один из критериев устойчивого развития/ *Известия Уральского государственного горного университета*, 2020. – №2(58). – С. 196–204.
9. *Гуман О. М., Макаров А. Б., Гревцев Н. В., Вегнер-Козлова Е. О.* Особенности инженерно-экологических исследований для рекультивации нарушенных земель в горнодобывающих регионах // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2020. № 2. С. 68–76.
10. *Rocha-Nicoleite E., Overbeck G. E., Müller S. C.* Degradation by coal mining should be priority in restoration planning // *Perspectives in ecology and conservation*. – 2017. – Т. 15. – №. 3. – С. 202–205.
11. *Lima A. T. et al.* The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation // *Environmental Science & Policy*. – 2016. – Т. 66. – С. 227–233.
12. *Зеньков И. В. и др.* Исследование и оценка влияния водной эрозии на рельеф породных отвалов разреза «Бородинский» // *Уголь*. – 2013. – №. 2. – С. 73–77.
13. *Apostu Nyari Izabela Maria, Maria Lazăr* the importance of hydrographical, hydrological and hydrogeological conditions in the context of flooding of the remaining GAPS Conference: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018 At: Bulgaria DOI: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.120.
14. *Padoan, E., Hernandez Kath, A., Vahl, L. C. et al.* Potential Release of Zinc and Cadmium From Mine-Affected Soils Under Flooding, a Mesocosm Study. *Arch Environ Contam Toxicol* 79, 421–434 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00777-0>.
15. *Karna, R. R., Hettiarachchi, G. M.* Subsurface Submergence of Mine Waste Materials as a Remediation Strategy to Reduce Metal Mobility: an Overview. *Curr Pollution Rep* 4, 35–48 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40726-018-0078-8>.
16. *Евстигнеев О. И., Мурашев И. А., Коротков В. Н.* Анемохория и дальность рассеивания семян деревьев восточноевропейских лесов // *Лесоведение*. – 2017. – № 1. – С. 45–52.
17. *Крупская Л. Т.* Охрана и рациональное использование земель на горных предприятиях Приамурья и Приморья. [Текст]. – Хабаровск, 1992. – 174с.
18. *Чайкина Г. М., Обьедкова В. А.* Рекультивация нарушенных земель в горнорудных районах Урала. [Текст]. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 266с.
19. Методики определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации (МДС81 – 35.2004): утв. Постановлением Госстроя России от 05.03.2004 №15/1 (ред. от 16.06.2014).

20. Федеральные единичные расценки. Сборник 1. Земляные работы: утв. приказом Минстроя РФ от 26.12.2019 №876/пр
21. Письма Минстроя России от 07.04.2020 N 13436-ИФ/09 О рекомендуемой величине индексов изменения сметной стоимости строительства в I квартале 2020 года
22. Методика исчисления размера вреда, причиненного биологическим ресурсам: утв. Приказом Федерального агентства по рыболовству от 25.11.2011 №1166 (зарегистрировано в Минюсте РФ 05.03.2012г. № 23404). [ИТАБ](#)

## REFERENCES

1. Carter T. G., Miller R. I. Crown-pillar risk assessment-planning aid for cost-effective mine closure remediation. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy-Section A-Mining Industry*. 1995. T. 104. p. A41.
2. Gammons C. H. et al. Creating lakes from open pit mines: Processes and considerations, emphasis on northern environments. 2009.
3. Larondelle N., Haase D. Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach – An example from Germany. *Ecological Indicators*. 2012. T. 18. pp. 567 – 574
4. Antoninova N., Shubina L., Sobenin A., Usmanov A. Modern aspects of disturbed land reclamation, В сборнике: E3S web of conferences. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020). 2020. p. 03019.
5. Rybnikov PA, Rybnikova LS, Maksimovich N. G., Demenev A. D. Study of hydrogeological conditions of coal deposits at the post-operational stage using hydrodynamic modeling (on the example of the Kizelovsky coal basin, Western Urals, Russia). *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3 – 1. pp. 475 – 487 [In Russ]
6. Kornilkov S. V., Antoninova N. Yu., Shubina L. A., Sobenin A. V. On the issue of ecological rehabilitation of the natural ecosystem disturbed during the development of the Kolyvanskoye field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3 – 1. pp. 465 – 474. [In Russ]
7. Yost R. Probability-based risk assessment applied to slope stability analysis in reclamation of an open-pit mine. *Environmental & Engineering Geoscience*. 2004. T. 10. no. 3. pp. 217 – 228.
8. Ignatieva M. N., Pustokhina N. G. Restoration of disturbed lands-one of the criteria for sustainable development / Proceedings of the Ural State Mining University. 2020. no.2(58). pp. 196 – 204. [In Russ]
9. Guman O. M., Makarov A. B., Grevtsev N. V., Wegner-Kozlova E. O. Features of engineering and environmental studies for reclamation of disturbed lands in mining regions. *News of higher educational institutions. Mining Magazine*. 2020. no. 2. pp. 68 – 76. [In Russ]
10. Rocha-Nicoleite E., Overbeck G. E., Müller S. C. Degradation by coal mining should be priority in restoration planning. *Perspectives in ecology and conservation*. 2017. T. 15. no. 3. pp. 202 – 205.
11. Lima A. T. et al. The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation. *Environmental Science & Policy*. 2016. T. 66. pp. 227 – 233.
12. Zenkov I. V. et al. Investigation and assessment of the impact of water erosion on the relief of rock dumps of the Borodinsky section». *Ugol’*. 2013. no. 2. pp. 73 – 77. [In Russ]
13. Apostu Nyari Izabela Maria, Maria Lazăr The importance of hydrographical, hydrological and hydrogeological conditions in the context of flooding of the remaining gaps Conference: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018 At: Bulgaria DOI: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.120
14. Padoan, E., Hernandez Kath, A., Vahl, L. C. et al. Potential Release of Zinc and Cadmium From Mine-Affected Soils Under Flooding, a Mesocosm Study. *Arch Environ Contam Toxicol* 79, 421 – 434 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00777-0>.
15. Karna, R. R., Hettiarachchi, G. M. Subsurface Submergence of Mine Waste Materials as a Remediation Strategy to Reduce Metal Mobility: an Overview. *Curr Pollution Rep* 4, 35 – 48 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40726-018-0078-8>.

16. Evstigneev O. I., Murashev I. A., Korotkov V. N. Anemochoria and seed dispersal range of Eastern European forest trees. *Lesovedenie*. 2017. no. 1. pp. 45 – 52. [In Russ]
17. Krupskaya L. T. *Ohrana i racional'noe ispol'zovanie zemel' na gornyh predpriyatiyah Priamur'ya i Primor'ya* [Protection and rational use of land at mining enterprises of the Amur region and Primorye]. Khabarovsk, 1992. 174 p. [In Russ]
18. Chaikina G. M., Obedkova V. A. *Rekul'tivaciya narushennyh zemel' v gornorudnyh rajonah Urala* [Recultivation of disturbed lands in the mining regions of the Urals]. Ekaterinburg: UrO RAS, 2003. 266 p. [In Russ]
19. *Metodiki opredeleniya stoimosti stroitel'noj produkcii na territorii Rossijskoj Federacii (MDS81–35.2004)* [Methods for determining the cost of construction products in the Russian Federation (MDS81 – 35.2004)]: utv. Postanovleniem Gosstroya Rossii ot 05.03.2004 №15/1 (red. ot 16.06.2014 [In Russ]
20. *Federal'nye edinichnye raschenki. Sbornik 1. Zemlyanye raboty: utv. prikazom Minstroya RF ot 26.12.2019 №876/pr* [Federal unit rates. Collection 1. Earthworks: utv. by order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 26.12.2019 no. 876/Ave]. [In Russ]
21. *Pis'ma Minstroya Rossii ot 07.04.2020 N 13436-IF/09 O rekomenduemoj velichine indeksov izmeneniya smetnoj stoimosti stroitel'stva v I kvartale 2020 goda* [Letters from the Ministry of Construction of Russia dated 07.04.2020 N 13436-IF/09 On the recommended value of indices for changing the estimated cost of construction in the first quarter of 2020][In Russ]
22. *Metodika ischisleniya razmera vreda, prichinennogo biologicheskim resursam: utv. Prikazom Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 25.11.2011 №1166 (zaregistrirvano v Minyuste RF 05.03.2012g. № 23404)* [Methodology for calculating the amount of damage caused to biological resources: By order of the Federal Fisheries Agency dated 25.11.2011 no. 1166 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation 05.03.2012 no. 23404)] [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Корнилков Сергей Викторович*<sup>1</sup> — докт. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник;

*Антонинова Наталья Юрьевна* — канд. техн. наук, зав. лаб. экологии горного производства;

*Шубина Любовь Андреевна* — научный сотрудник, лаборатории экологии горного производства;

*Славиковская Юлия Олеговна* — канд. экон. наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства;

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Kornilkov S. V.*, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher  
*Antoninova N. Yu.*, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Mining Ecology Laboratory, geoco@igduran.ru;

*Shubina L. A.*, Researcher at the Mining Ecology Laboratory;

*Slavikovskaya Yu. O.*, Cand. Sci. (Economic), Senior Researcher at the Mining Ecology Laboratory, natal78@list.ru;

Institute of Mining Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.12.2020; получена после рецензии 25.03.2021; принята к печати 10.04.2021.  
Received by the editors 21.12.2020; received after the review 25.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.