

О РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ В КУЗБАССЕ, НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2024 г. А. Н. Соловицкий¹, *, Н. Ю. Никулин¹

¹Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, 650000 Россия

*E-mail: san.mdig@mail.ru

Поступила в редакцию 08.08.2023 г.

После доработки 02.10.2023 г.

Принята к публикации 15.11.2023 г.

Обобщен опыт рекультивации нарушенных земель в Кузбассе. Установлена востребованность изучения пространственного распределения состава грунтов и их обводненности на техническом этапе проведения рекультивации. В сложившихся условиях возникает необходимость разработки новых методов рекультивации нарушенных земель, направленных на обеспечение дальнейшего развития отработанных участков. Цель исследований — разработка метода рекультивации земель, нарушенных горными работами в Кузбассе, на основе применения прикладных геофизических технологий на примере разреза “Талдинский угольный разрез”. Зонирование отработанного участка проводится на основе интерпретации результатов прикладных малоглубинных геофизических технологий о состоянии грунтов и их обводненности, что обеспечивает новый уровень информационного взаимодействия между техническим и биологическим этапами рекультивации. Практическое использование указанного метода заключается в расширении возможностей рекультивации нарушенных земель для развития рационального природопользования.

Ключевые слова: рекультивация, нарушенные земель, зонирование, прикладные малоглубинные геофизические технологии, интерпретация

DOI: 10.31857/S0869780924010115, EDN: GNFOZS

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсная направленность экономики Кузбасса уязвима с экологических и санкционных позиций [2]. Стремление снизить затраты на добычу угля недропользователями обуславливает ведение горных работ открытым способом, что не является лучшим вариантом для экологии региона. Открытый способ добычи угля отягощен не только загрязнениями окружающей среды, но и образованием “нарушенных” земель, для введения в оборот которых требуется их рекультивация. В Российской Федерации сложилось несколько научных школ рекультивации нарушенных земель (РНЗ), одна из которых сформирована в Кемеровском государственном университете [3–9, 12, 14, 15]. Эта научная школа широко применяет как традиционные методы РНЗ в Кузбассе [9, 12], так инновационные технологии [5]. Однако, несмотря на значительные успехи в области проведения РНЗ, ее оптимизация далека от совершенства. Снижение затрат на проведение РНЗ ориентирует недропользователей в Кузбассе на выбор лесотехнического направления, которое нацелено чаще на высадку малолетних, но неприхотливых растений [9, 12]. Поэтому результатом такого проведения РНЗ является перевод земель промышленности в лесные, но с их низкой кадастровой

стоимостью. Для повышения кадастровой стоимости рекультивируемых земель и обеспечения их вклада в развитие территорий, авторами предлагается высадка ценных пород деревьев, что предполагает дальнейшее их народно-хозяйственное использование. Для высадки ценных пород деревьев необходимо знание состава грунтов и их обводненности.

Авторами предлагается проведение зонирования отработанных участков после технического этапа РНЗ на основе геофизического метода путем применения прикладных малоглубинных геофизических технологий (ПМГТ), которые в горном деле разнообразны и широко используются [1, 10, 11, 13]. Однако применение таких технологий при проведении РНЗ недостаточно изучено. По мнению авторов, ПМГТ в Кузбассе могут найти более широкое применение и использоваться не только при проведении технического этапа РНЗ, но и быть нацелены на совершенствование второго (биологического) этапа.

Цель исследования — разработка метода рекультивации земель, нарушенных горными работами в Кузбассе, на основе их зонирования с помощью прикладных малоглубинных геофизических технологий на примере разреза “Талдинский угольный разрез”. Авторы считают, что проблемная ситуация

заключается в том, что, несмотря на использование инновационных технологий, применяемых на биологическом этапе рекультивации, на техническом этапе отсутствуют эффективные методики изучения рекультивационного слоя для установления необходимого индекса лесорастительных условий и профилактических мер по применению почвоулучшителей [9, 12]. Разработка методов изучения рекультивационного слоя на первом этапе и его зонирование для оптимизации биологического этапа — это важная научная задача. Все перечисленное выше свидетельствует об актуальности темы исследований и её научном и практическом интересе.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В качестве научно-методической основы нового подхода предлагается использовать метод зонирования, профилактической мерой которого является следующий критерий [11]:

$$NP[t] > NP_f[t_0], \quad (1)$$

где $NP[t]$ и $NP_f[t_0]$ — последствия негативных процессов и явлений на исследуемой территории на периоды t и t_0 до и после рекультивации соответственно.

Для снижения последствий негативных процессов и явлений на исследуемой территории при проведении зонирования на основе ПМГТ, авторами предложен критерий

$$A[t] > A_f[t_0], \quad (2)$$

где $A[t]$ — геофизические аномалии исследуемого месторождения на эпоху t ; $A_f[t_0]$ — фоновые

геофизические аномалии исследуемого месторождения на эпоху t_0 .

Задачи исследования:

- установить проблемную ситуацию РНЗ;
- разработать метод рекультивации земель, нарушенных горными работами в Кузбассе, на основе применения ПМГТ;
- отразить реализацию применения ПМГТ на конкретном примере.

Экспериментальные исследования по реализации зонирования для обеспечения оптимизации РНЗ в Кузбассе на основе применения ПМГТ проведены авторами в рамках проекта “Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации”, реализуемого Кемеровским государственным университетом совместно с индустриальным партнером АО “Кузбассразрезуголь”, на участке отвалов вскрышных пород разреза “Талдинский угольный разрез”, расположенный вблизи села Большая Талда Прокопьевского муниципального района Кемеровской области.

Экспериментальные исследования включали:

- георадиолокационное профилирование грунтов;
- вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) грунтов.

Георадиолокационное профилирование грунтов проведено по системе параллельных продольных профилей 1–3, расположенных по падению откоса отвала вскрышных пород. Схематичное расположение профилей и их направление представлено на рис. 1. Сканирование осуществлялось аппаратурой ОКО-2 (ООО “ЛогиС”) с антенным блоком



Рис. 1. Схема расположения профилей и зонирования: профили 1, 2, 3 — георадиолокационного профилирования грунтов; ВЭЗ-1, 2, 3 — профили вертикального электрического зондирования.

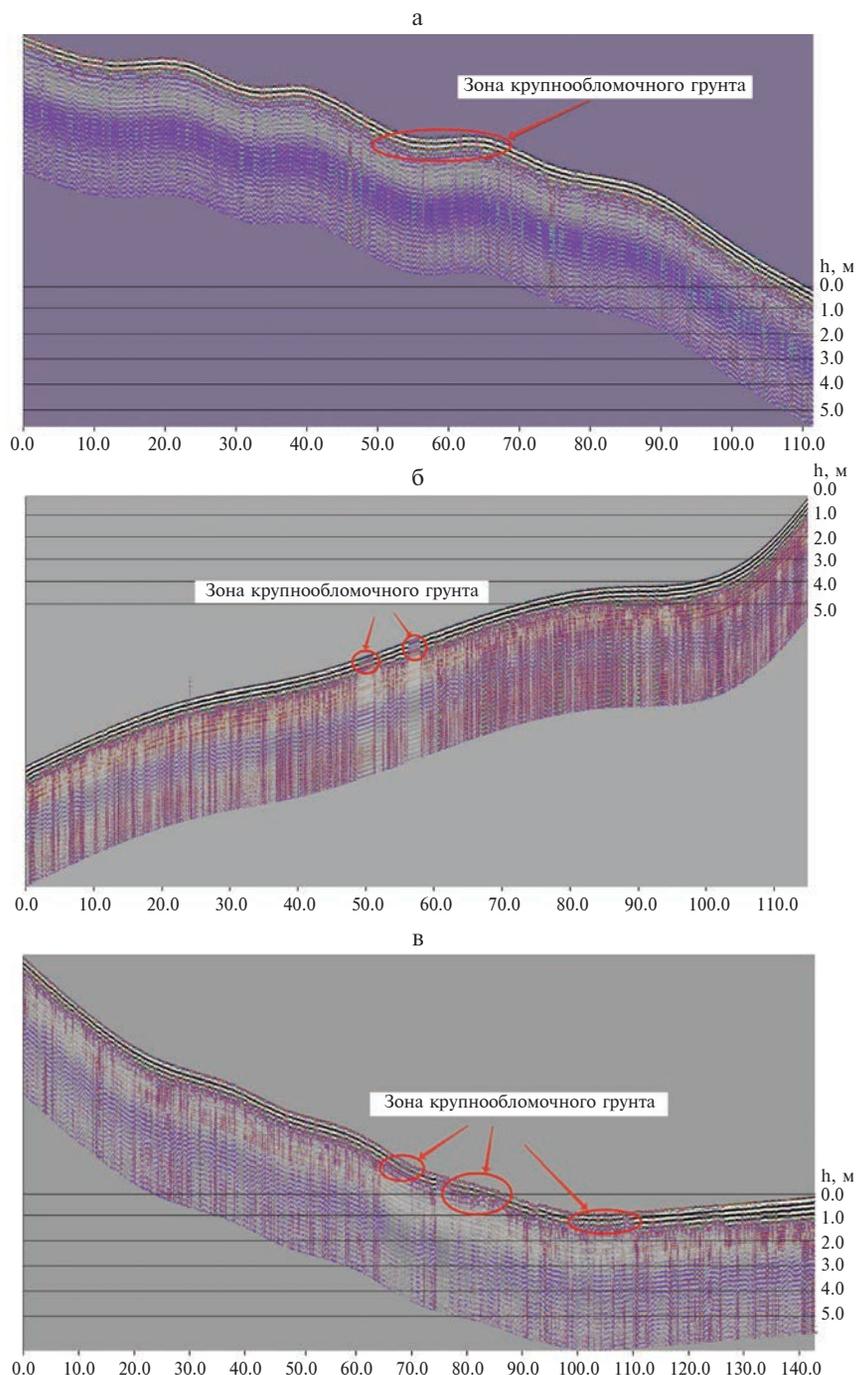


Рис. 2. Радарограммы по профилю: а — 1, б — 2, в — 3.

АБ-400 на частоте 400 МГц. Глубина зондирования зависела от электрофизических свойств изучаемой среды и частоты зондирующего сигнала, что для данного типа антенного блока и состава грунтового массива с диэлектрической проницаемостью ~ 7 составила 5 м. Линейная горизонтальная развертка георадиолокационных данных производилась по датчику пути при заданной плотности съемки 10 пк/м. Рабочий временной диапазон был принят 90 нс, 512 временных отчетов в линейной шкале.

Длина профилей контролировалась колесным датчиком пути, входящим в состав георадара. Для интерпретации данных георадиолокационной съемки использовалась измерительная программа Geoscan32 v2.3 b4 (ООО «ЛогиС»). Geoscan32 позволяет производить усиление сигнала, частотную фильтрацию с целью подавления помех. Также применялись различные цветовые схемы для улучшения визуализации, и производилась корректировка глубины исследований путем назначения эффективной диэлектрической проницаемости

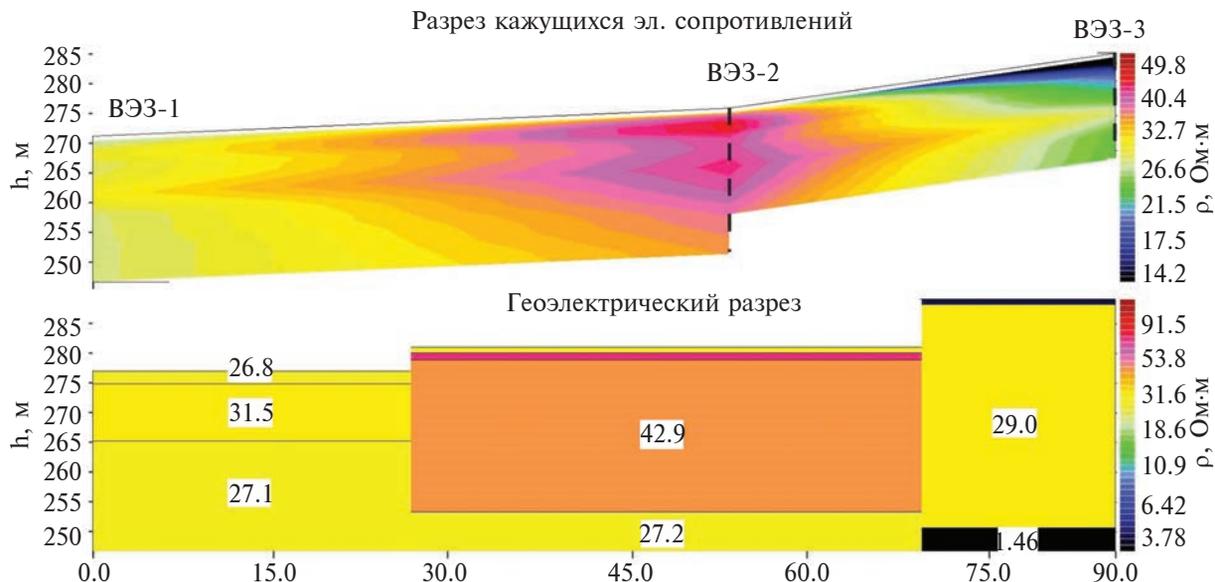


Рис. 3. Геоэлектрический разрез ВЭЗ-1–2–3.

для грунтового массива. Диэлектрическая проницаемость для насыпных грунтов по справочным данным принималась, равной 7 [9].

Расположение точек ВЭЗ выбиралось исходя из возможности выполнения заземления при разносах питающей линии АВ, равной 110 м. Таким образом, зондирование осуществлялось приближенно к осевой части экополигона в трех точках ВЭЗ, равномерно расставленных в верхней, средней и нижней части откоса. В качестве измерительной аппаратуры использовался электроразведочный комплекс “Березка”, состоящий из приемника ЭРП-5 и генератора ЭРГ-5. Заземление приемной линии осуществлялось электродами из нержавеющей стали на глубину до 20 см, питающая линия заземлялась стальными электродами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Метод рекультивации земель, нарушенных горными работами в Кузбассе, на основе применения ПМГТ включает:

- методику изучения состава грунтов после их механической обработки;
- методику изучения обводненности грунтов для обеспечения питания высаживаемых растений.

Методики изучения состава грунтов и их обводненности базируются на результатах интерпретации георадиолокационного профилирования и вертикального электрического зондирования грунтов.

Интерпретация георадиолокационного профилирования грунтов свидетельствует о следующем. Оценка сложения грунтового массива осуществлялась по форме осей синфазности. Участки, на которых оси синфазности теряют корреляцию [1], считаются аномальными, связанными с разуплотнением грунтов массива. На рис. 2 показаны радарограммы по профилям 1–3, где стрелкой обозначен участок с нарушением корреляции осей синфазности, что обусловлено разуплотнением грунтов на данном участке.

Грунт низкой плотности по всем исследуемым профилям располагается от дневной поверхности на глубине до 1 м. По профилю 1 такая аномальная зона зафиксирована на участке от 50 до 70 м от начала профиля, по профилю 2 от 47 до 60 м, по профилю 3 от 63 до 112 м. Таким образом, разуплотнения встречены преимущественно в средней части экополигона.

Направление разносов питающих линий ВЭЗов выбиралось вдоль простираения откоса, так чтобы соблюдалось требование заземления электродов А и В с разницей в абсолютных отметках земли, не превышающей 5–10%. Зондирование осуществлялось симметричной 4-электродной установкой Шлюмберже при разносе АВ до 110 м, что позволило достичь глубины исследования до 25–35 м в зависимости от состава исследуемой грунтовой толщи. Обработка полевых данных выполнялась в программе IPI2win, где осуществлялось построение кривых ВЭЗ, их инверсия и объединение в геоэлектрический разрез ВЭЗ-1–2–3 (рис. 3).

Анализ результатов ВЭЗ грунтового массива свидетельствует о следующем. Как видно из приведенного геоэлектрического разреза, средняя часть профиля (точка ВЭЗ-2) в диапазоне исследуемых глубин 0,9–27,6 м представлена грунтом с повышенным удельным электрическим сопротивлением (УЭС) 43–67 Ом·м, ниже по разрезу залегает грунт с фоновым УЭС 27 Ом·м. Периферийная часть исследуемого профиля представлена грунтами с УЭС 26–32 Ом·м, что тоже является относительно фоновым значением УЭС. В точке ВЭЗ-3 с глубины 38,3 м отмечено резкое снижение УЭС до значений 1,46 Ом·м, что предположительно связано с насыщением грунтового массива подземными водами.

Согласно выполненным авторами исследований, установлено:

– наличие зоны насыщения грунтового массива подземными водами, в которой высаживаемые растения обеспечены питанием (см. рис. 1);

– выделение в средней части площадки грунтов зоны с повышенным УЭС до 67 Ом·м (см. рис. 1), так как на данном участке залегает крупнообломочный грунт до глубины 27,6 м, что влияет на индекс лесорастительных условий, т.е. на биологическом этапе рекультивации земель потребуются применение почвоулучшителей [12];

Ввыделение зон обводненности и крупнообломочных грунтов подтверждено бурением скважин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы.

1. Авторами предложен новый подход к РНЗ на ее техническом этапе, основанный на применении ПМГТ на отработанном участке, обеспечивающий изучение рекультивируемого слоя и выбор соответствующего индекса лесорастительных условий.

2. Установлено, что интерпретация результатов применения ПМГТ на ее техническом этапе является оперативным, точным и высоко автоматизированным методом при трансформировании земель.

3. Разработанный авторами метод РНЗ в Кузбассе на основе применения ПМГТ на ее техническом этапе — это не только инструмент **защиты от опасных техногенных воздействий, но и рационального землепользования и** решения экологических задач развития территорий.

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла “Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков

для жизни населения”, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А. А., Большаков Д. К., Модин И. Н., Шевнин В. А. Электроразведка. Т. II. Малоглубинная электроразведка. М.: МГУ, 2013. 123 с.
2. Власюк Л. И. Стратегический приоритет экологии экономики Кузбасса: фонд рекультивации земель // Управленческое консультирование. 2021. № 2. С. 69–78.
3. Двуреченский В. Г., Середина В. П. Характеристика почвенного покрова техногенных ландшафтов Красногорского каменноугольного разреза // Вестник ТГУ. 2014. № 387. С. 257–265.
4. Ермак Н. Б., Русин Е. В. Оценка жизненного состояния лесных насаждений рекультивированных участков отвалов предприятий угледобычи // Вестник КемГУ. 2010. № 1 (41). С. 38–41.
5. Заушинцева А. В., Кожевников Н. В. Биорекультивационное районирование Кузбасса // Вестн. КемГУ. 2015. Т. 2. № 1–2 (61). С. 20–25.
6. Коваленко В. С., Штейнцвайг Р. М., Голик Т. В. Рекультивация нарушенных земель на карьерах. М.: Изд-во “Горная книга”, 2012. 65 с.
7. Кожевников Н. В., Заушинцева А. В. Отечественный и зарубежный опыт биологической рекультивации нарушенных земель. // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 1. С. 43–47.
8. Наумов И. В. Исследование пространственных диспропорций в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов в России // Известия УГГУ. 2019. Вып. 4 (56). С. 142–151.
9. Осинцева М. А., Бурова Н. В., Жидкова Е. А. Особенности рекультивации отработанных территорий угольных разрезов в Кузбассе // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 9 (123). С. 1–12.
10. Соловицкий А. Н., Никулин Н. Ю., Смирнов Н. А. и др. Геофизические исследования в Кузбассе // Наука, инновации, образование: актуальные вопросы и современные аспекты: монография / Под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. 2022. С. 196–205.
11. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. М.: МГУ, 2008. 192 с.
12. Уфимцев В. И. Опыт и современное состояние лесной рекультивации в Кузбассе // Сибирский лесной журнал. 2017. № 4. С. 12–27
13. Федоров М. Ю., Федоренко Е. А., Соловицкий А. Н. Контроль сложных горно-геологических условий освоения угольного месторождения ООО “Шахта имени С. Д. Тихова” // Сб. ст. XXXI Междунар. научно-практ. конф. “Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации”. В 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. 2023. С. 199–203.
14. Ignatyeva M., Yurak V., Pustokhina N. Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and

- comparative law and feasibility study // Resources. 2020. V. 9. № 6. P. 1–17.
<https://doi.org/10.3390/RESOURCES9060073>
15. Podurets O. I., Osintseva M. A. Ecological aspect of the development of soil-forming processes at the post-technogenic stage. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2021. V. 937. № 2. P. 022008.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/2/022008>.

ON THE RECLAMATION OF LAND DISTURBED BY MINING IN KUZBASS USING APPLIED GEOPHYSICAL TECHNOLOGIES

A. N. Solovitskii^{a, #}, N. Yu. Nikulin^a

^aKemerovo State University, ul. Krasnaya 6, Kemerovo, 650000 Russia

[#]E-mail: san.mdig@mail.ru

The experience in reclamation of disturbed lands in Kuzbass is summarized. The demand for studying the spatial distribution of soil composition and water content in soil at the technical stage of land reclamation is shown. Currently, there is a need to develop new methods for the reclamation of disturbed lands, aimed at ensuring further development of depleted areas. The goal of research is to develop a method for reclamation of lands disturbed by mining operations in Kuzbass, based on the use of applied geophysical technologies by the example of the Taldinsky coal mine. The proposed method is based on the zoning of the mined-out area proceeding from the results of applied shallow geophysical survey on the state of soils and their water content, which provides a new level of information interaction between the technical and biological stages of reclamation. The practical use of this method is to expand the possibilities of reclamation of disturbed lands for the development of rational environmental management.

Keywords: reclamation of disturbed lands, zoning, applied shallow geophysical technologies, interpretation

REFERENCES

- Bobachev, A.A. Bol'shakov, D.K., Modin, I.N., Shevnin, V.A. [Electrical prospecting. Vol. II. Shallow electrical prospecting]. Moscow, MGU Publ., 2013, 123 p. (in Russian)
- Vlasyuk, L.I. [Strategic priority of ecologization of the economy in Kuzbass: land reclamation foundation]. Upravlencheskoe konsul'tirovanie, 2021, no. 2, pp. 69–78. (in Russian)
- Dvurechenskii, V.G., Seregina, V.P. [Characteristics of the soil cover of technogenic landscapes at the Krasnogorsk coal mine]. *Vestnik TGU*, 2014, no. 387, pp. 257–265. (in Russian)
- Ermak, N.B., Rusin, E.V. [Assessment of the vital state of forest plantations at re-cultivated sites of coal mining waste dumps]. *Vestnik KemGU*, 2010, no. 1 (41), pp. 38–41. (in Russian)
- Zaushintsena, A.V., Kozhevnikov, N.V. [Bioremediation zoning of Kuzbass]. *Vestnik KemGU*, 2015, vol. 2, no. 1–2 (61), pp. 20–25. (in Russian)
- Kovalenko, V.S., Shteintsig, R.M., Golik, T.V. [Recultivation of disturbed lands in open pits]. Moscow, Gornaya kniga Publ., 2012, 65 p. (in Russian).
- Kozhevnikov, N.V., Zaushintsena, A.V. [Domestic and foreign experience of biological reclamation of disturbed lands]. *Vestnik KemGU*, 2017, no. 1, pp. 43–47. (in Russian)
- Naumov, I.V. [Study of spatial disproportions upon the disturbance and reclamation of land resources in Russia]. *Izvestiya UGGU*, 2019, no. 4 (56), pp. 143–152. (in Russian)
- Osintseva, M.A. Burova, N.V., Zhidkova, E.A. [Peculiarities of reclamation of waste areas at coal mines in Kuzbass]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2022, no. 9 (123), pp.1–12. (in Russian)
- Solovitskii, A.N., Nikulin, N.Yu., Smirnov, N.A. et al. [Geophysical research in Kuzbass]. In: [Science, innovations, education: topical issues and modern aspects]. G. Yu. Gulyaev, Ed., Penza, ICNS "Science and Education", 2022, pp. 196–205. (in Russian)
- Starovoitov, A.V. [Interpretation of GPR data]. Moscow, MGU Publ., 2008. 192 p. (in Russian)
- Ufimtsev, V.I. [Experience and current state of forest reclamation in Kuzbass]. *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2017, no. 4, pp. 12–27. (in Russian)
- Fedorov, M.Yu., Fedorenko, E.A., Solovitskii, A.N. [Control of complex mining and geological conditions for the development of a coal deposit LLC "Mine named after S. D. Tikhov"]. In: [Collection of articles of the XXXI International Scientific and Practical Conference "Modern Science: Current Issues, Achievements and Innovations". Part 1]. Penza, ICNS "Science and Education", 2023, pp. 199–203. (in Russian)
- Ignatyeva, M., Yurak, V., Pustokhina, N. Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and comparative law and feasibility study. *Resource*, 2020, vol. 9, no. 6, p. 1–17.
<https://doi.org/10.3390/RESOURCES9060073>
- Podurets, O.I., Osintseva, M.A. Ecological aspect of the development of soil-forming processes at the post-technogenic stage. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021, vol. 937, no. 2. p. 022008.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/2/022008>.