DOI: 10.65322/j.srd.05192026.26

УДК 624.131.1:622.33:502.64(575.11)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АНГРЕНСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Бегимкулов Д.К., Нормухаммадов О.С., Мадияров Д.Ж.
Ташкентский государственный технический университет

Аннотация. *Представлены результаты комплексной инженерно-геоэкологической оценки локальных участков зоны влияния Ангренского горнопромышленного комплекса. Исследования объединяли вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), метод заряженного тела (МЗТ), сейсмическую томографию, гидрогеологические наблюдения, полевые обследования и лабораторные определения состава грунтов и почв. На промышленной площадке установлено, что в верхней части разреза распространены валунно- и гравийно-галечниковые отложения, а в пределах бывших гидроотвалов отдельные участки закольматированы глинистым материалом и характеризуются пониженной проницаемостью. Скорость движения грунтовых вод составляет 0,5–2,3 м/сут при преимущественном направлении с севера на юг. Под резервуарными сооружениями зоны пониженных скоростей продольных сейсмических волн оконтуриваются значениями Vp ≤ 850 м/с, тогда как относительно устойчивые грунты характеризуются Vp 900–1300 м/с. Лабораторные исследования почвенно-грунтового покрова на участках техногенного воздействия выявили присутствие Mn, Cu, Zn, Ni и Pb; для Mn получены значения 477–678 мг/кг, Cu — 78,2–95,5 мг/кг, Zn — 78,3–135 мг/кг. Результаты показывают необходимость совместного учёта литологического строения, фильтрационных условий, динамики грунтовых вод, состояния оснований сооружений и геохимической нагрузки при инженерно-геоэкологическом мониторинге.*

Annotatsiya. *Angren tog‘-kon sanoati majmuasi ta’sir zonasidagi lokal uchastkalarning kompleks muhandislik-geoekologik baholash natijalari keltirilgan. Tadqiqotlar vertikal elektr zondlash (VEZ), zaryadlangan jism usuli (ZJU), seysmik tomografiya, gidrogeologik kuzatuvlar, dala tekshiruvlari hamda grunt va tuproqlar tarkibini laboratoriyada aniqlash usullarini birlashtirdi. Sanoat maydonchasida kesmaning yuqori qismida harsangtoshli hamda shag‘al-toshli yotqiziqlar tarqalganligi, sobiq gidrotog‘ jinslari ag‘darmalari (gidrootvallar) doirasidagi ayrim maydonlar esa gilli materiallar bilan kolmatatsiyalanganligi (teshiklari yopilganligi) va past o‘tkazuvchanlikka egaligi aniqlandi. Grunt suvlari harakat tezligi asosan shimoldan janubga yo‘nalgan holda 0,5–2,3 m/sutkani tashkil etadi. Rezervuar inshootlari ostida bo‘ylama seysmik to‘lqinlarning pasaytirilgan tezlikdagi zonalari $V_p \leq 850$ m/s qiymatlar bilan chegaralanadi, nisbatan turg‘un gruntlar esa $V_p = 900 - 1300$ m/s bilan tavsiflanadi. Texnogen ta’sir uchastkalaridagi tuproq-grunt qatlamining laboratoriya tadqiqotlari Mn, Cu, Zn, Ni va Pb mavjudligini ko‘rsatdi; Mn uchun 477–678 mg/kg, Cu — 78,2–95,5 mg/kg, Zn — 78,3–135 mg/kg qiymatlar olindi. Natijalar muhandislik-geoekologik monitoring o‘tkazishda litologik tuzilish, filtratsiya sharoitlari, grunt suvlari dinamikasi, inshootlar poydevori holati va geokimyoviy yuklamani birgalikda hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi.*

Abstract. *The results of a comprehensive engineering and geoecological assessment of local sites within the zone of influence of the Angren mining and industrial complex are presented. The investigations integrated vertical electrical sounding (VES), the charged-body potential method (mise-à-la-masse), seismic tomography, hydrogeological observations, field surveys, and laboratory determinations of soil and ground composition. It was established across the industrial site that the upper section of the profile is dominated by boulder and gravel-pebble deposits, whereas within former hydraulic spoil dumps, certain sections are clogged (colmatated) with*

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.26

clayey material and characterized by reduced permeability. Groundwater velocity ranges from 0.5 to 2.3 m/day, with a predominant flow direction from north to south. Beneath reservoir structures, zones of reduced longitudinal seismic wave velocities are bounded by $V_p \leq 850$ m/s, whereas relatively stable soils are characterized by V_p values of 900–1300 m/s. Laboratory analyses of the soil-ground cover in areas of anthropogenic impact revealed the presence of Mn, Cu, Zn, Ni, and Pb; concentrations of 477–678 mg/kg were recorded for Mn, 78.2–95.5 mg/kg for Cu, and 78.3–135 mg/kg for Zn. The results demonstrate the necessity of concurrently considering lithological structure, filtration conditions, groundwater dynamics, foundation integrity, and geochemical load in engineering and geoecological monitoring.

Ключевые слова: *Ангренский горнопромышленный комплекс; природно-техногенные изменения; инженерно-геологические условия; грунтовые воды; ВЭЗ; метод заряженного тела; сейсмическая томография; техногенные грунты; тяжёлые металлы; мониторинг.*

Kalit so‘zlar: *Angren tog‘-kon sanoati majmuasi; tabiiy-texnogen o‘zgarishlar; muhandislik-geologik sharoitlar; grunt suvlari; VEZ; zaryadlangan jism usuli; seysmik tomografiya; texnogen gruntlar; og‘ir metallar; monitoring.*

Keywords: *Angren mining complex; natural and technogenic changes; engineering geological conditions; groundwater; VES; charged-body method; seismic tomography; technogenic soils; heavy metals; monitoring.*

Введение. Ангренский горнопромышленный район является одной из наиболее интенсивно освоенных промышленных территорий Ташкентской области. Длительная открытая разработка угольного месторождения, формирование отвалов, эксплуатация энергетических и иных промышленных объектов, планировка территорий и локальное переустройство верхней части геологического разреза создают сложное сочетание природных и техногенных факторов. В этих условиях инженерно-геологическая оценка не может ограничиваться характеристикой отдельных компонентов среды: существенное значение приобретает анализ связей между литологическим строением, фильтрационными свойствами грунтов, режимом грунтовых вод, деформационным состоянием оснований сооружений и геохимическими изменениями.

Геологическая специфика Ангренского района подтверждается специализированными исследованиями. H.G. Dill, J. Kus, R. Dohrmann и Y. Tsoy исследовали юрское угольно-каолиновое месторождение Ангрен и показали сложность его угленосно-каолиновой толщи, сформированной при сочетании супергенных и гипогенных преобразований [1]. Эти результаты важны для разграничения природной литолого-минералогической неоднородности и изменений, возникающих в процессе промышленного освоения территории.

Отдельное направление исследований связано с опасными инженерно-геологическими процессами. С.И. Якубов, И.П. Сидорова и Б.Р. Раимжанов на примере разреза «Ангренский» рассмотрели развитие оползневых явлений в условиях длительной горной эксплуатации и техногенной нагрузки [2]. В более поздней работе Н. Таджибаевой и О. Шишкиной современные инженерно-геологические процессы Ангренской промышленной зоны оценены с учётом геоморфологического строения, полевых наблюдений, режимных гидрогеологических измерений и картографических материалов [3]. В совокупности эти исследования указывают на необходимость постоянного контроля взаимодействия природных предпосылок и техногенных воздействий.

Гидрогеохимический контекст региона дополнен исследованием S. Fornasaro, L. Ghezzi, N. Shukurov, M. Petrov и R. Petrini, изучивших поверхностные и подземные воды бассейнов Чирчика и Ахангарана. Авторы показали пространственную неоднородность

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.26

растворённой нагрузки и влияние как геогенных, так и антропогенных источников; для крупного золоотстойника Ангренских угольных электростанций отмечены повышенные содержания As, Al, B, Mo и Sb и потенциальная возможность воздействия на грунтовые воды при инфильтрации [4]. Эти данные характеризуют региональный гидрогеохимический фон и не подменяют локальные результаты настоящего исследования.

В международной литературе показано, что вскрышные работы, выемка, транспортирование и отвалообразование при открытой угледобыче изменяют физические, химические и биологические свойства почвенно-грунтовой среды и увеличивают её пространственную неоднородность. Y. Feng, J. Wang, Z. Bai и L. Reading подчёркивают необходимость рассматривать рекультивацию как комплекс, включающий геоморфологическое переустройство, восстановление грунтов, гидрологическую устойчивость, растительность и ландшафт [5].

Вместе с тем опубликованные работы преимущественно характеризуют отдельные звенья природно-техногенной системы – геологическое строение угольно-каолинового месторождения, оползневые процессы, гидрогеохимию либо последствия открытой разработки. Недостаточно раскрыта взаимосвязь техногенного переустройства верхней части разреза, локального изменения фильтрационных условий, динамики грунтовых вод и состояния грунтов оснований промышленных сооружений. Цель настоящего исследования — оценить указанные взаимосвязи на основе комплекса геофизических, гидрогеологических и инженерно-геоэкологических данных и определить признаки природно-техногенной трансформации геологической среды.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились на территории Ангренского горнопромышленного комплекса и прилегающих участках. На одном из локальных промышленных объектов ранее существовали чаши-накопители шламовых промышленных отходов керамического производства, заполненные текучепластичными глинами мощностью 6–7 м и ориентировочными размерами около 300×400 м. Перед строительством сооружений глинистый материал был выбран, а чаши заполнены гравийно-галечниковыми отложениями. На площадке размещены 12 резервуаров объёмом 5000–10000 м³. В процессе эксплуатации отмечались деформационные проявления на эстакаде, канализационных лотках и в основании отдельных резервуаров; фиксировались близкое залегание грунтовых вод, локальный выход воды к поверхности и сезонные колебания уровня до 2 м.

Для уточнения литологического и геофильтрационного строения использовалось вертикальное электрическое зондирование с максимальным разносом питающей линии AB=300 м. Профили ВЭЗ ориентировались поперёк регионального потока грунтовых вод и размещались как в пределах промышленной площадки, так и на её северной и южной периферии. Измерения выполнялись аппаратурой АНЧ-3.

Для определения направления и скорости движения локальных потоков грунтовых вод применялся метод заряженного тела по 12 наблюдательным скважинам. Использовался статический вариант МЗТ, при котором отслеживалось изменение во времени разности потенциалов между заранее заданными точками, равномерно расположенными вокруг скважины.

Сейсмотомографические исследования выполнялись под тремя резервуарами, в основаниях которых наблюдались признаки деформации грунтов. Вокруг резервуаров размечался условный квадрат; возбуждение сейсмических волн производилось с шагом 4 м, сейсмоприёмники на остальных сторонах устанавливались с шагом 2 м. Регистрация выполнялась станцией ИСН 01-24. Результаты обрабатывались программой «Сейсмическая томография» АО «Геотест» (Брно) с восстановлением скоростного поля итерационным способом.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.26

Дополнительно использовались полевые наблюдения, отбор проб грунтов и почв, лабораторное определение физико-химических показателей и содержания микроэлементов, а также геоботанические наблюдения. В исходных материалах зафиксированы концентрации Mn, Cu и Zn, приведённые ниже; для Ni и Pb отмечено их выявление без достаточного набора численных значений для отдельной статистической интерпретации.

Результаты и их обсуждение.

1. Литологическое и геофильтрационное строение. По геофизическим данным в верхней части разреза распространены валунно-галечниковые отложения, залегающие на гравийно-галечниковых отложениях с песчано-суглинистым заполнителем. В районе бывших гидроотвалов часть этих отложений закольматирована глинистым материалом. Такая локальная неоднородность снижает фильтрационную способность массива и формирует условия для задержки инфильтрационных и грунтовых вод. На промышленной площадке этот фактор рассматривается как одна из предпосылок локального подтопления и последующего ухудшения состояния оснований сооружений.

2. Динамика грунтовых вод. По результатам МЗТ скорость движения грунтовых вод изменяется в пределах 0,5–2,3 м/сут, преимущественное направление потока – с севера на юг. В сочетании с близким положением уровня грунтовых вод и сезонной амплитудой его колебаний до 2 м это повышает чувствительность техногенно переустроенных участков разреза к локальному переувлажнению. Полученные данные относятся непосредственно к исследованной промышленной площадке и должны отличаться от региональных гидрогеохимических характеристик бассейна Ахангарана, рассмотренных Fornasaro et al. [4].

3. Состояние грунтов оснований сооружений. Сейсмотомографические данные выявили пространственную неоднородность скоростного поля под резервуарными сооружениями. Зоны ослабленных грунтов оконтуриваются изолиниями Vp 850 м/с и ниже. Относительно устойчивые участки характеризуются скоростями продольных волн 900–1300 м/с. Совмещение этих зон с участками деформационных проявлений позволяет использовать скоростное поле как один из диагностических признаков состояния грунтового основания. Само по себе снижение Vp не определяет механизм деформации, однако в сочетании с литологическими и гидрогеологическими данными указывает на участки, требующие приоритетного мониторинга.

Таблица 1

Основные результаты геофизических и гидрогеологических исследований

Метод / показатель	**Задача**	**Полученный результат**	**Инженерно-геологическая интерпретация**
ВЭЗ, АВ до 300 м	Уточнение литологического и геофильтрационного строения	Выделены участки техногенно изменённых и закольматиро-ванных отложений	Локальное снижение фильтрационной способности
МЗТ, 12 скважин	Определение движения грунтовых вод	0,5–2,3 м/сут; направление с севера на юг	Оценка локального гидродинамического режима
Сейсмотомография	Оценка грунтов под резервуарами	Vp ≤ 850 м/с	Зоны ослабленных грунтов
Сейсмотомография	Выделение относительно устойчивых участков	Vp = 900–1300 м/с	Относительно устойчивое состояние грунтового массива

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.26

Режимные наблюдения	Оценка положения УГВ	Сезонная амплитуда до 2 м; локально близкое залегание	Предпосылка переувлажнения и подтопления

4. Геохимические и биоиндикационные признаки техногенной нагрузки. В исследованных грунтах и почвах выявлены Mn, Cu, Zn, Ni и Pb. В исходном массиве результатов содержание Mn составляет 477–678 мг/кг, Cu — 78,2–95,5 мг/кг, Zn — 78,3–135 мг/кг. Наиболее высокие значения отмечались в почвенных разрезах, расположенных в непосредственной близости от участков интенсивного промышленного воздействия. Поскольку в исходных материалах не приведены единая фоновая выборка и норматив, использованный для всех компонентов, в настоящей работе эти значения не интерпретируются автоматически как превышение ПДК. Они рассматриваются как основание для дальнейшего сопоставления с локальным фоном и действующими нормативами.

Геоботанические наблюдения выявили 33 доминирующих вида растений. Вблизи участков интенсивного воздействия отмечались разрежение растительного покрова, сокращение проективного покрытия отдельных доминирующих видов и увеличение доли рудеральной растительности. Эти признаки целесообразно рассматривать как дополнительный индикатор нарушения поверхностного компонента природно-техногенной системы, а не как самостоятельное доказательство причинно-следственной связи с конкретным загрязнителем.

5. Сопоставление с ранее выполненными исследованиями

Сопоставление показывает, что настоящее исследование не дублирует перечисленные работы. Его отличие заключается в совместном рассмотрении локально изменённого строения верхней части разреза, фильтрационных условий, параметров движения грунтовых вод и сейсмотомографических признаков ослабления грунтов под промышленными сооружениями. Такой подход конкретизирует общую природно-техногенную проблематику Ангренской промышленной зоны на уровне инженерного объекта.

Таблица 2

Предшествующие исследования и их связь с настоящей работой

Источник	Объект / направление	Основной вклад	Связь с настоящим исследованием
[1] Dill et al., 2008	Ангренское угольно-каолиновое месторождение	Геология, минералогия, супергенные и гипогенные преобразования	Природная литолого-минералогическая основа для интерпретации техногенных изменений
[2] Якубов и др., 2017	Разрез «Ангренский»	Оползневые явления в условиях горной эксплуатации	Подтверждает актуальность учёта геодинамического ответа среды на техногенную нагрузку
[3] Таджибаева, Шишкина, 2026	Ангренская промышленная зона	Современные инженерно-геологические процессы и гидрогеологические наблюдения	Региональный инженерно-геологический контекст

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.26

[4] Fornasaro et al., 2024	Бассейны Чирчика и Ахангарана	Геогенные и антропогенные компоненты химического состава вод	Региональный гидрогеохимический контекст; не подменяет локальные данные МЗТ
[5] Feng et al., 2019	Открытая угледобыча, международный обзор	Изменение свойств грунтов и системный подход к рекультивации	Методологическая основа комплексного мониторинга и восстановления

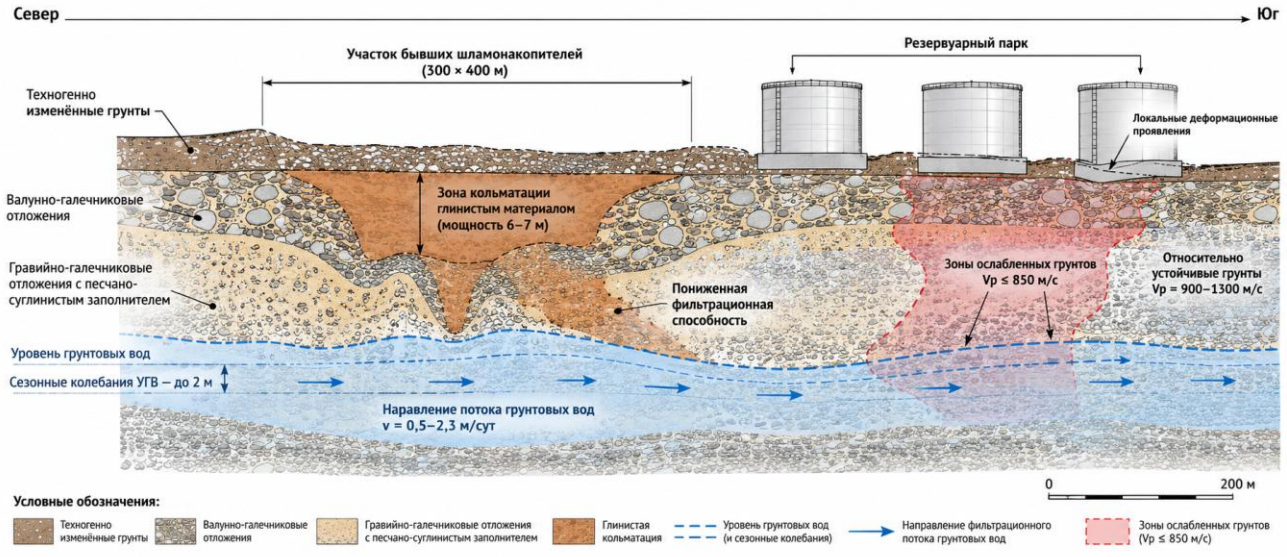

Рис. 1. Концептуальная схема формирования природно-техногенных изменений на исследуемой промышленной площадке (составлено авторами по результатам исследований)

Инженерно-геоэкологическая оценка и практические рекомендации. Полученные результаты позволяют выделить последовательность взаимосвязанных процессов: техногенное переустройство верхней части разреза и локальная колматация → снижение фильтрационной способности → изменение условий движения и разгрузки грунтовых вод → переувлажнение отдельных участков → ухудшение состояния грунтов оснований и формирование деформационных проявлений. Эта схема является рабочей интерпретацией комплекса наблюдений и требует дальнейшей проверки режимными измерениями.

Для участков промышленной инфраструктуры рекомендуется: организовать совместный мониторинг уровня и направления движения грунтовых вод; периодически повторять геофизические наблюдения на деформационно чувствительных участках; контролировать техническое состояние дренажных и водоотводящих систем; сопоставлять геохимические показатели почв и грунтов с локальным фоном и действующими нормативами; при рекультивации учитывать не только восстановление растительности, но и гидрологическую устойчивость и свойства техногенных грунтов. Такой комплексный подход соответствует современным представлениям о восстановлении территорий открытой угледобычи [5].

Выводы. 1. В верхней части геологического разреза исследованной промышленной площадки распространены валунно-галечниковые и гравийно-галечниковые отложения; в

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.26

районе бывших гидроотвалов выявлены участки, закольматированные глинистым материалом и характеризующиеся пониженной фильтрационной способностью.

2. По данным МЗТ скорость движения грунтовых вод составляет 0,5–2,3 м/сут при преимущественном направлении с севера на юг. В сочетании с близким залеганием и сезонными колебаниями УГВ до 2 м это формирует предпосылки локального переувлажнения.

3. Сейсмотомографические исследования выделили под резервуарными сооружениями зоны ослабленных грунтов со скоростями Vp ≤ 850 м/с; относительно устойчивые участки характеризуются Vp 900–1300 м/с.

4. В почвенно-грунтовом покрове участков техногенного воздействия выявлены Mn, Cu, Zn, Ni и Pb; для Mn, Cu и Zn получены диапазоны 477–678, 78,2–95,5 и 78,3–135 мг/кг соответственно. Для доказательной оценки степени загрязнения требуется сопоставление с локальным фоном и едиными нормативными критериями.

5. Совокупность геофизических, гидрогеологических, геохимических и геоботанических данных подтверждает целесообразность интегрированного инженерно-геоэкологического мониторинга, ориентированного на выявление взаимосвязи между техногенным преобразованием разреза, фильтрационными условиями, динамикой грунтовых вод и состоянием оснований сооружений.

Список использованной литературы

1. Dill H.G., Kus J., Dohrmann R., Tsoy Y. Supergene and hypogene alteration in the dual-use kaolin-bearing coal deposit Angren, SE Uzbekistan // International Journal of Coal Geology. 2008. Vol. 75, No. 4. P. 225–240. DOI: 10.1016/j.coal.2008.07.003.

2. Якубов С.И., Сидорова И.П., Раимжанов Б.Р. Изучение оползневых явлений — один из проблемных вопросов при добыче угля на разрезе «Ангренский» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 6. С. 370–375.

3. Таджибаева Н., Шишкина О. Оценка современных инженерно-геологических процессов и явлений в пределах Ангренской промышленной зоны // ACTA NUUz. 2026. Т. 3, № 3.2. С. 289–291. DOI: 10.69617/nuuz.v3i3.2.12906.

4. Fornasaro S., Ghezzi L., Shukurov N., Petrov M., Petrini R. Water quality and dissolved load in the Chirchik and Akhangaran river basins (Uzbekistan, Central Asia) // Environmental Monitoring and Assessment. 2024. Vol. 196. Article 854. DOI: 10.1007/s10661-024-13014-1.

5. Feng Y., Wang J., Bai Z., Reading L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review // Earth-Science Reviews. 2019. Vol. 191. P. 12–25. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.02.015.