УДК: 504.064.2.001.18
МРНТИ: 87.35.29

КУСАИНОВА А.А.[1], КАЙГОРОДОВА Е.В.[2]

[1] *Доктор PhD,кандидат географических наук, Старший преподаватель, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4524-3765*

[2] *техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы. Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ, Қазақстан. ORCID: 0000-0009-0007-2862-3911, E-mail: e.kaygorodova@ktu.edu.kz*

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ОСАДКОВ И ИЗБЫТОЧНОЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ НА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКУЮ ДЕГРАДАЦИЮ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА КАРЬЕРА НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. В данной работе анализируется влияние интенсивных осадков и избыточной влагообеспеченности на гидромеханическую деградацию прибортового массива карьера «Атансор», расположенного на территории Северного Казахстана. Атмосферные увлажнение, в особенности ливневые дожди, относятся к наиболее значимым экзогенным факторам, способствующим на возникновение деформационных процессов в прибортовых массивах карьеров. В исследовании выявлены периоды наступления избыточных осадков в районе карьера, а также определены методом гидролого-климатических расчетов элементы тепловых и водных балансов за май-август по исходным данным близлежащей метеостанции за 2020-2024 гг. Изучены спутниковые снимки территории, отражающие изменения растительного покрова вдоль промоин, которые выявляются через снижение индексов NDVI, что позволяет дистанционно оценить степень обнажения почвы и активность эрозионных процессов. Применение анализа спутниковых снимков позволяет оперативно выявлять проблемные участки карьера «Атансор». Результаты исследования дают объективную информацию о влиянии избыточной влагообеспеченности на состояние прибортового массива карьера для планирования защитных мероприятий и минимизации риска обвалов и разрушений откосов.

Ключевые слова*:* интенсивные осадки, прибортовой массив, деформационные процессы, метод гидролого-климатических расчётов, избыточная влагообеспеченность, спутниковый снимок, индекс NDVI, карьер «Атансор», Северный Казахстан

КУСАИНОВА А.А.[1], KAYGORODOVA Y.V.[2]

[1] *Доктор PhD,кандидат географических наук, Старший преподаватель, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4524-3765*

[2] *Senior Lecturer. Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. ORCID: 0000-0009-0007-2862-3911, E-mail: e.kaygorodova@ktu.edu.kz*

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ОСАДКОВ И ИЗБЫТОЧНОЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ НА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКУЮ ДЕГРАДАЦИЮ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА КАРЬЕРА НА

ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Андатпа. Бұл жұмыста Солтүстік Қазақстан аумағында орналасқан "Атансор" карьерінің жиегі массивінің гидромеханикалық деградациясына қарқынды жауын-шашынның және артық ылғалмен қамтамасыз етілудің әсері талданады. Атмосфералық ылғалдандыру, әсіресе нөсерлі жаңбыр, карьерлер жиектерінің массивтерінде деформациялық процестердің пайда болуына ықпал ететін ең маңызды экзогендік факторларға жатады. Зерттеуде карьер аймағында артық жауын-шашынның басталу кезеңдері айқындалды, сондай-ақ жақын маңдағы метеостанцияның 2020-2024 жылдардағы деректеріне негізделіп, гидрологиялық-климаттық есептеу әдісімен мамыр-тамыз айларындағы жылу және су балансының элементтері анықталды. Сай бойындағы өсімдік жамылғысының өзгеруін көрсететін аумақтың спутниктік суреттерді зерттеу нәтижесінде NDVI индекстерінің төмендеуі анықталды. Бұл топырақ шөгінділерінің және эрозия процестерінің белсенділігі дәрежесін қашықтықтан бағалауға мүмкіндік береді. Спутниктік суреттерді талдауды қолдану "Атансор" карьерінің проблемалық аймақтарын жедел анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері карьер жиегі массивінің артық ылғалмен қамтамасыз етілуі әсерінің қорғаныс шараларын жоспарлау және беткейлердің құлауы мен қирау қаупін азайту үшін объективті ақпарат береді.

Түйінді сөздер: қарқынды жауын-шашын, карьер жиегі массиві, деформациялық процестер, гидрологиялық-климаттық есептеу әдісі, артық ылғалмен қамтамасыз ету, спутниктік сурет, NDVI индексі, "Атансор" карьері, Солтүстік Қазақстан.

КУСАИНОВА А.А.[1], KAYGORODOVA Y.V.[2]

[1] *Доктор PhD,кандидат географических наук, Старший преподаватель, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4524-3765*

[2] *Master of technical science, Senior Lecturer. Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. ORCID: 0000-0009-0007-2862-3911, E-mail: e.kaygorodova@ktu.edu.kz*

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ОСАДКОВ И ИЗБЫТОЧНОЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ НА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКУЮ ДЕГРАДАЦИЮ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА КАРЬЕРА НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Annotation. This paper analyses the impact of heavy rainfall and excessive moisture on the hydromechanical degradation of the Atansor quarry's embankment, located in Northern Kazakhstan. Atmospheric moisture, especially torrential rains, are among the most significant exogenous factors contributing to the occurrence of deformation processes in the side walls of quarries. The study identified periods of excessive precipitation in the quarry area and determined the elements of the heat and water balances for May-August using hydrological and climatic calculations based on initial data from a nearby weather station for 2020-2024. Satellite images of the territory were studied, reflecting changes in vegetation cover along gullies, which are identified through a decrease in NDVI indices, allowing remote assessment of the degree of soil exposure and the activity of erosion processes. The use of satellite image analysis allows for the rapid identification of problem areas in the Atansor quarry. The results of the study provide objective information on the impact of excessive moisture on the condition of the quarry's edge massif for planning protective measures and minimising the risk of landslides and slope

failures.

***Keywords**:* intense precipitation, near-shore array, deformation processes, hydrological and climatic calculation method, excess moisture supply, satellite image, NDVI index, Atansor quarry, Northern Kazakhstan

Введение.

В степной зоне Северного Казахстана области годовое количество осадков варьируется в пределах 200–450 мм, причем за последние годы отмечается тенденция к росту интенсивности экстремальных осадков примерно на 2–8 мм каждые десять лет [1]. Сильные ливни и превышение оптимального уровня влагонасыщения в прибортовых зонах карьеров приводят к резкому повышению порового давления, что в свою очередь снижает эффективные напряжения, упругие характеристики и прочность горных пород, а также способствует образованию микротрещин и внутренней эрозии массива. В результате совокупного действия этих процессов в массиве развиваются прогрессивные деформации и создается угроза обрушения бортов, что подчёркивает важность внедрения адаптивных инженерно-гидрологических мер для отвода избыточной влаги.

Месторождение Атансор представляет собой достаточно однородный геологический массив с простым литостратиграфическим строением, однако в его пределах выделяются локальные неоднородности, обусловленные наличием тектонических нарушений, трещиноватых зон и дискоординаций между отдельными пластами пород. Данные структурные особенности приводят к неравномерному сосредоточению напряжений в горном массиве и формированию зон ослабления вблизи разломов и трещин.

В процессе проведения открытым способом горных работ, в частности при подрыве и отработке уступов, исходное статическое равновесие в массиве нарушается. Интенсивное буровзрывное воздействие создаёт динамические нагрузки, способствующие развитию деформаций на бортах карьера. Нарушения устойчивости наиболее заметны на участках с крутыми углами откосов, приближающимися к критическим для пород данного состава, что усугубляет исходные структурные дефекты.

Резко континентальный климат региона с продолжительной и суровой зимой, а также значительными сезонными колебаниями температур вызывает многократные циклы термического расширения и сжатия горных пород. Повторяющиеся фазы замерзания и оттаивания ускоряют физико-механическое выветривание и снижают прочностные характеристики откосов. Дополнительно, проникновение поверхностных и грунтовых вод в зону экспонированных уступов приводит к уменьшению связности пород и повышению риска развития срывов и обрушений.

Деформация бортовых откосов карьера не только снижает экономическую эффективность горных работ вследствие увеличения потерь руды и необходимости выполнения дополнительных мероприятий по укреплению откосов, но и создаёт серьёзную угрозу безопасности персонала и горно-транспортного оборудования. Нестабильность откосов способствует образованию локальных зон ослабления, которые при неблагоприятных геомеханических или технологических условиях могут перейти в обвальные процессы, потенциально приводящие к аварийным ситуациям на карьере.

В данном исследовании представлен анализ влияния интенсивных осадков и избыточной влагообеспеченности на гидромеханическую деградацию прибортового массива карьера на территории карьера «Атансор», расположенного в Северном Казахстане. Месторождение Атансор расположился в степной природной зоне, на севере Казахского мелкосопочника с абсолютной высотой 270 м, в 45 км к северо-западу от города Степногорск и в 156 км к юго-востоку от города Кокшетау. Разработку Атансорского железорудного месторождения, обладающего годовой производительностью порядка 600 тыс. тонн осуществляет ТОО «Оркен» в рамках железорудного департамента АО «Qarmet». *Разработка месторождения ведётся открытым способом. Глубина карьера составляет около 100 м* [2].

Атмосферные осадки, в частности ливневые дожди, являются одним из значимых экзогенных факторов, влияющих на деформационные процессы в прибортовых массивах карьеров. Их воздействие реализуется посредством комплекса гидрологических и геомеханических механизмов, приводящих к ухудшению физико-механических характеристик горных пород и активизации процессов перемещения рыхлого материала по откосам.

Интенсивные и кратковременные осадки способствуют ускоренному водонасыщению прибортового массива. Процессы инфильтрации воды в трещиноватые и пористые участки породы сопровождаются повышением порового давления, что, в свою очередь, снижает эффективное напряжение в массиве. Это приводит к уменьшению сил внутреннего трения между частицами и, как следствие, к снижению общей устойчивости откосов, повышая вероятность их смещения [3,4].

Материалы и методы.

В настоящей работе проведён расчёт основных элементов теплового и водного балансов за период с мая по август 2020–2024 гг. на территории, прилегающей к карьеру «Атансор», с целью количественной оценки её тепло- и влагообеспеченности. При этом в качестве методической основы использован гидролого-климатический метод (ГКР) В. С. Мезенцева [11], представляющий собой универсальную математическую модель преобразования влаги на деятельной

поверхности водосборов в заданном расчётном периоде и пригодную для применения на различных ландшафтах.

Согласно методике ГКР, при отклонении фактического атмосферного увлажнения от оптимального уровня, определяемого через водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов испарения, разница между этими величинами характеризует дефицит или избыточность влаги. Использование предлагаемой модели обеспечивает возможность расчёта средних показателей влажности почвенного слоя, суммарного объёма испарения и величины поверхностного стока за заданный интервал времени (будь то многолетний период или отдельный календарный год).

Влажность территории определяется водным циклом между поверхностью земли и атмосферой за счёт непрерывного тепло- и влагобмена между верхним слоем почвы и приземным слоем воздуха. По методу гидрологическо-климатических расчётов В. С. Мезенцева при несоответствии содержания атмосферного увлажнения оптимальному значению, полученному через водный эквивалент тепловых и энергетических ресурсов испарения, их разность отражает величину дефицита (или избытка) влаги.

Для определения водного эквивалента тепловых энергетических ресурсов Zm использованы формулы (1-4), предложенные И. В. Карнацевичем [12], согласно которым испаряемость рассчитывается как функция суммы средних месячных положительных температур воздуха:

$$Z_m = T_Z/L \quad (1)$$

$$T_Z = 17{,}6 \sum t + 400 \quad (2)$$

где: T_Z— теплоэнергетические ресурсы суммарного испарения в МДж/(м^2 год);

L - 2,512 МДж/(м^2·мм) – удельная теплота парообразования;

∑t— сумма положительных среднемесячных температур теплого периода.

Значения дефицита увлажнения (ΔKX) определяется как разность между величиной осадков (KX) и водным эквивалентом тепловых и энергетических ресурсов (Z_m)

$$\Delta KX = KX - Z_m \quad (3)$$

Структура соотношений между тепловыми и водными ресурсами задаёт уровень увлажнения (естественного или антропогенного). Поэтому показатель увлажнённости территории для любого внутригодового интервала усреднённого года выражается отношением:

$$\beta_{kx} = KX/Z_m \quad (4)$$

Граница оптимального соотношения тепла и влаги пространственно выражается изолинией единичного значения коэффициента увлажнения и влажности почвы (в

долях полной влагоёмкости), а также нулевого дефицита увлажнения [11].

Исходными данными для выполнения расчётов послужили стандартные метеорологические показатели: суммарная величина осадков, отражающая степень увлажнения поверхности, и средние суточные температуры воздуха, определяющие тепловые ресурсы, участвующие в процессе испарения [8]. На их основе были определены величины основных элементов тепловых и водных балансов: фактическое испарение, дефицит или избыток влаги, коэффициент увлажнения и локальный поверхностный сток.

Результаты исследования.

Гидронасыщение массива вызывает ослабление структурной целостности горных пород за счёт комплексного физико-химического воздействия. В условиях наличия слабосвязанных структур или литологических неоднородностей наблюдается вымывание мелкодисперсных частиц, что способствует развитию поверхностной деградации откосов. Особенно подвержены данным процессам зоны тектонических нарушений и трещиноватости, где инфильтрация протекает наиболее активно, провоцируя локальное разуплотнение массива и ускорение процессов гравитационного перемещения.

Ливневые дожди также сопровождаются интенсивным поверхностным стоком, усиливающим эрозионные процессы в пределах прибортовой зоны. Изменённый рельеф карьера способствует накоплению воды в пониженных участках, что усиливает локальное вымывание материала. Удаление верхнего слоя массива, обладающего защитными функциями, может привести к оголению более глубоких горизонтов, потенциально устойчивых при сухих условиях, но уязвимых к дальнейшему воздействию внешней среды.

Гидрологическое воздействие в сочетании с природными тектоническими напряжениями формирует сложную напряжённо-деформированную обстановку в массиве. При многократных циклах увлажнения и высыхания формируются усталостные процессы, сопровождающиеся постепенным накоплением необратимых деформаций. Это приводит к снижению коэффициента запаса устойчивости откосов и увеличивает риск формирования оползневых и обвальных процессов.

До выхода работ на уровень грунтовых вод водоприток в карьер при ведении открытой добычи в первую очередь обеспечивается снеготалыми водами и атмосферными осадками. По мере углубления котлована начинает проявляться приток подземных вод, интенсивность которого определяется фильтрационными характеристиками вмещающего массива. По результатам полевых и лабораторных исследований коэффициент фильтрации для монолитных малотрещиноватых пород составил примерно 0,0025 м/сут, тогда как для массивов с развитой

трещиноватостью – порядка 0,17 м/сут. Расчётное среднее значение, равное 0,1 м/сут, адекватно отражает сложившиеся геолого-гидрогеологические условия данного месторождения.

По итогам анализа смещений прибортового массива в карьере «Атансор» сотрудники Карагандинского технического университета им.А.Сагинова при выполнении научно-исследовательских работ вместе с маркшейдерами карьера «Атансор»установили, что на поверхности уступа наблюдаются незначительные осадки в пределах 10–17 мм, вместе с тем оползневое тело у основания глинистого откоса перемещается до 41 мм, что соответствует среднесуточной скорости порядка 0,6 мм. Основным фактором, активизирующим данные деформации, является поступление влаги в результате атмосферных осадков, усугубляемое рельефными понижениями вблизи уступа. В качестве наиболее эффективного инженерно-технического решения рекомендуется гидроизоляция прибортового массива или отведение поверхностных стоков от зон возможного водонакопления [5].

На некоторых участках карьера обнаружены локальные деформации (Рис.1а). Они в этом районе возникают из-за постоянным подтёком дождевой и талой воды, где она скапливается. Об этом свидетельствуют следы эрозии на верхней части глинистых откосов — вода размывает откосы, образуя промоины. Причина накопления влаги в этом месте — обратные уклоны на бермах безопасности. Чтобы избежать дальнейших размывов, нужно скорректировать планировку, то есть придать бермам уклон в сторону выездной траншеи.

Гидрогеологические механизмы играют ключевую роль в процессах, происходящих в прибортовом массиве. Интенсивное насыщение осадками приводит к быстрому повышению уровня воды в поровом пространстве, что вызывает гидромеханическое ослабление связей между частицами горной породы. При этом даже незначительная неоднородность в структуре массива может стать локальной зоной слабости, становясь отправной точкой для начала оползневого процесса. Наиболее опасными, при этом, считаются глинистые участки карьера [6,7].

В результате интенсивных ливневых дождей в июле, августе 2022 года и в мае, июле и августе 2024 года на территории карьера Атансор [8] наблюдалось заметное смещение прибортового массива, что привело к образованию оползневого тела (Рис.1б).



а)



б)

Рисунок 1 - Карьер «Атансор»: а) общий вид и б) оползень глины

Длительные и периодические осадки способствуют накоплению избытка влаги в трещиноватых и пористых породах, что неизбежно сказывается на механической устойчивости откосов карьера. Такой процесс обусловлен повышением порового давления, что снижает внутреннее трение в материале и способствует его деформации [9, 10].

В таблице 1 представлены рассчитанные значения элементов теплового и водного балансов для анализируемой зоны, полученные методом ГКР. Пользуясь универсальностью данного подхода, полученные данные могут быть использованы для дальнейшего гидрологического и климатического моделирования территории

прилегающей к карьеру «Атансор».

Таблица 1-Элементы тепловых и водных балансов за май-август рассчитанные по данным метеостанции Степногорск за 2020-2024 гг. (мм)

Год	KX	Zm	Z	DKX	Y	Вн
2020	129	682	128	-553	1	0,19
2021	70	685	70	-615	0	0,10
2022	332	649	305	-317	27	0,51
2023	90	666	90	-576	0	0,14
2024	881	621	529	260	352	1,41

Примечание*: KX-атмосферное увлажнение; **Zm**- водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов испарения; **Z**-суммарное испарение; Δ**KX-**дефицит увлажнения; **Y-** местный сток; **Вн**- коэффициент увлажнения.

В течение последних пяти лет (май–август 2020–2024 гг.) на территории, прилегающей к карьеру «Атансор», наблюдались существенные колебания показателей тепло- и влагообеспеченности, вызванные изменчивостью климатических условий. По данным многолетних наблюдений за период 1961–1990 гг. норма осадков в тёплый сезон (май–август) составляет 165 мм. В ходе настоящего исследования были рассчитаны следующие средние величины элементов тепловой и влагообеспеченности: годовая сумма осадков ***KX*** = 300 мм; теплоэнергетические ресурсы испарения ***Zm*** = 661 мм; фактическое суммарное испарение ***Z*** = 224 мм; дефицит увлажнения ***ΔKX*** = –360 мм; климатически определённый местный сток ***Y*** = 76 мм; коэффициент увлажнения ***Вн*** = 0,47.Наибольшей увлажнённостью отличался 2024 г., что объясняется рекордным количеством осадков, тогда как 2021 г. оказался самым засушливым по величине дефицита влаги. Динамика значений элементов водного баланса представлена на рисунке 5. В 2024 году зафиксирована максимальное значение испарения (529 мм) и избыток влаги (260 мм), поскольку для степной зоны в теплый период оптимальным дефицитом увлажнения принимается показатель в пределах ***0…-300 мм***. Исходя из этого установлено, что, средняя влагообеспеченность территории в рассматриваемом периоде превышает многолетнюю норму в два раза, в большей степени из-за аномальных осадков 2022 и 2024 гг.



Рисунок 2 – Динамика значений элементов водного баланса
на территории карьера «Атансор»
(Z-суммарное испарение; Δ**KX-**дефицит увлажнения; **Y-** местный сток)

Водообеспечение подземных вод сформировано преимущественно за счёт атмосферных осадков, выпадающих в зимне-весенний период, что типично для условий Северного Казахстана. Независимо от литологической принадлежности, грунтовые воды находятся в тесной гидравлической связи. Их общий поток, направленный преимущественно в сторону озера Атансор, имеет средний естественный уклон порядка 0,015, при локальных значениях до 0,28 [13,14].

Колебания уровней подземных вод коррелируют с изменениями метеорологических условий и проявляются в сезонных и годовых амплитудах. Максимальное снижение уровней наблюдается в период с января по март, тогда как с началом снеготаяния регистрируется стремительный подъём, достигающий пика в середине–конце мая с амплитудой 1,0–4,8 м. На протяжении 5–10 дней сохраняется весенний максимум, после чего уровни понижаются до появления летних осадков, обеспечивающих второй, более слабый, подъём в августе [15,16].

При разработке месторождения открытым способом водоприток на этапе вскрытия до уровня грунтовых вод обеспечивается за счёт снеготалых и дождевых вод. По мере углубления карьера начинается поступление подземных вод, интенсивность которого определяется фильтрационными характеристиками вмещающих пород. Для малотрещиноватых пород установлен коэффициент фильтрации 0,0025 м/сут, а для более трещиноватых — 0,17 м/сут. Среднее значение фильтрации, рассчитанное с учётом геолого-гидрогеологических условий, составляет 0,1 м/сут [17,18].

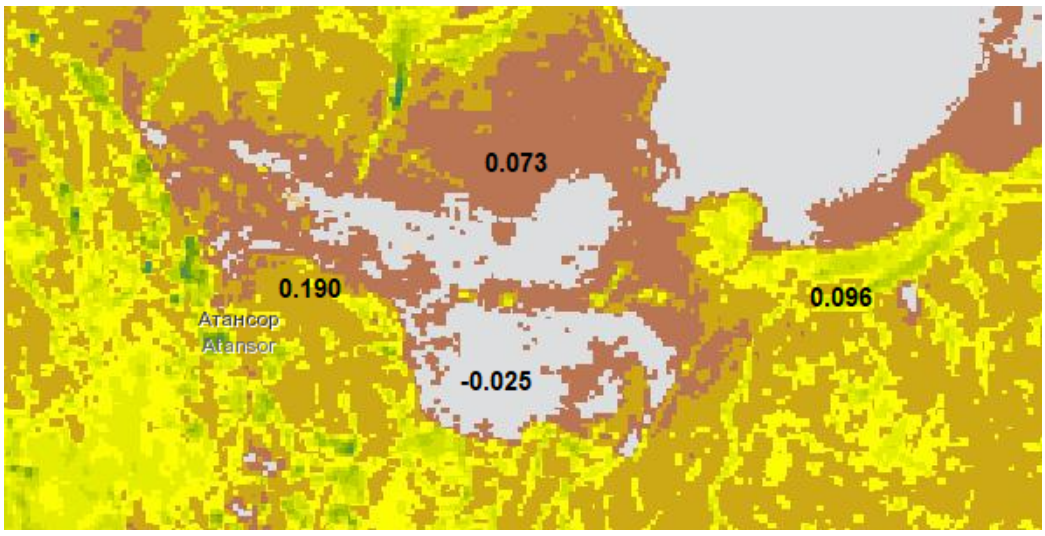
Следы эрозии на откосах карьеров вполне можно обнаруживать и мониторить дистанционно, анализируя спутниковые снимки. Изменения растительного покрова вдоль эрозионных линий фиксируются многоспектральными каналами. В данной работе изучены спутниковые снимки Landsat-8, выполненные на территории карьера

«Атансор». Спутниковые снимки анализировались по показателям нормализованного относительного индекса растительности NDVI (в**егетационный индекс),** снижение которого служит индикатором обнажения почв и эрозии. Снижение NDVI в зонах размыва указывает на обнажение почв и усиление эрозионного процесса. Гиперспектральные данные помогают отличить свежие промоины от старых за счёт различий в влажности и составе пород на обнажённых поверхностях [19].

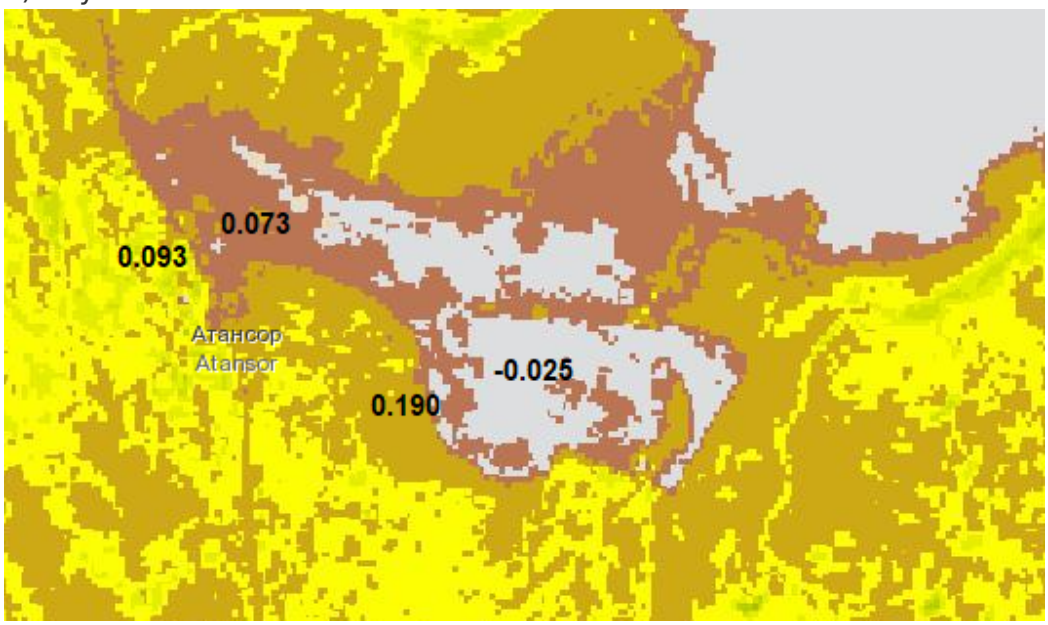
Как видно на рисунках 3 (а-г), 4 (а-в) состояние прибортовых массивов карьера претерпевают изменения в связи с климатическими условиями. В мае, августе 2022, 2023 и 2024 годов увеличена площадь размывов, на снимках они выглядят как красно-коричневые и желтые области. Индекс NDVI снижен в данных областях и составляет меньше 0,1. Особенно это сильно заметно на снимках от 10 мая и 1 августа 2024 года. Если учесть избыток влагообеспеченности данного периода (табл. 1), то становится очевидно, что прибортовые массивы сильно переувлажнены. Твердые горные породы на снимках представлены светло-серой областью с индексом ... -0,025.



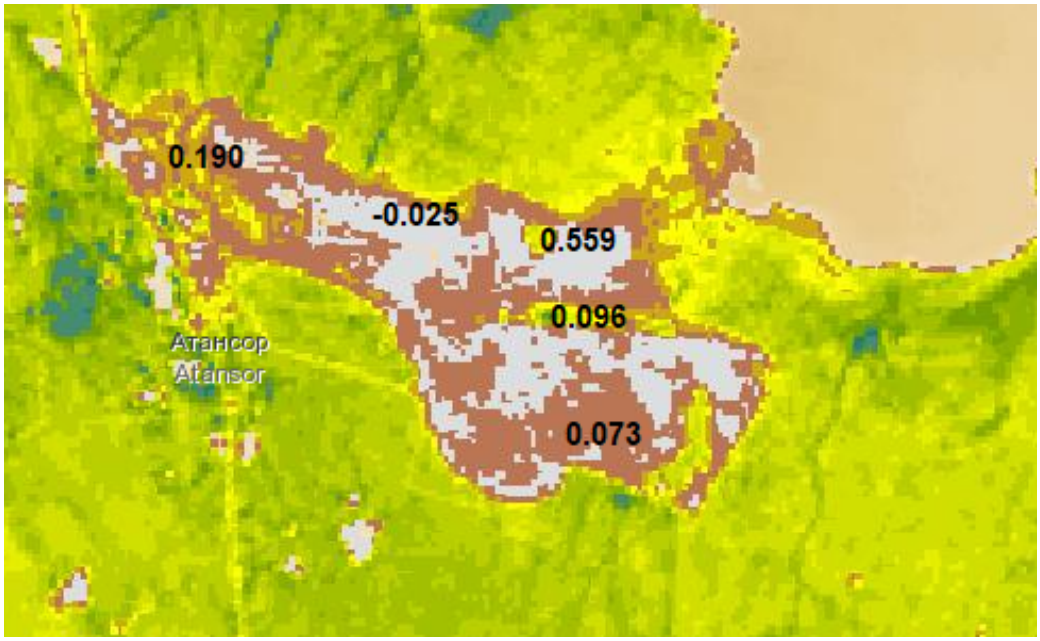
а) Спутниковый снимок с границами карьера «Атансор»



б) Спутниковый снимок от 29.05.2022 г.



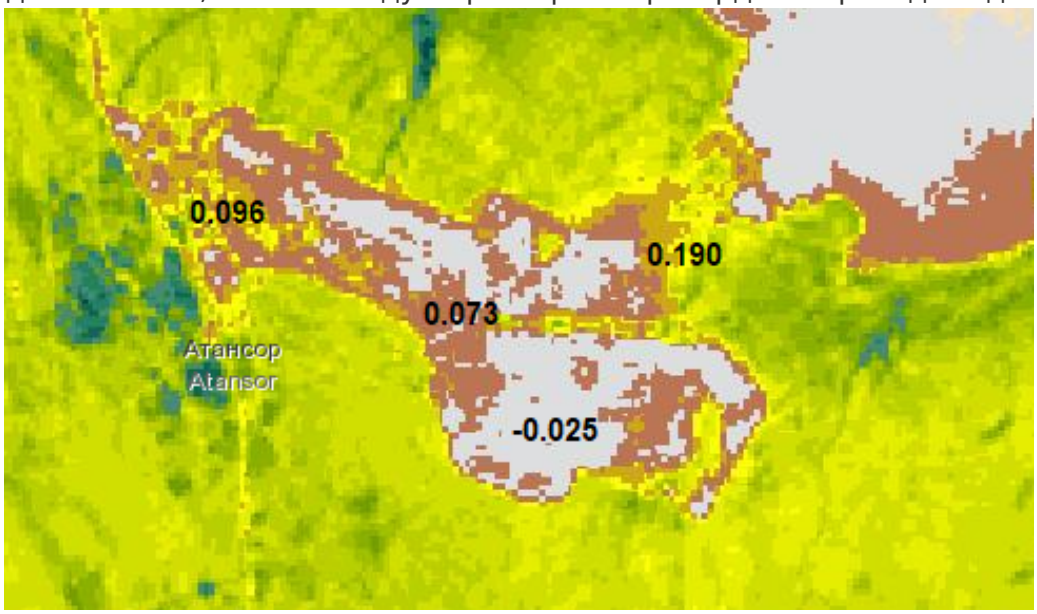
в) Спутниковый снимок от 08.05.2023 г.



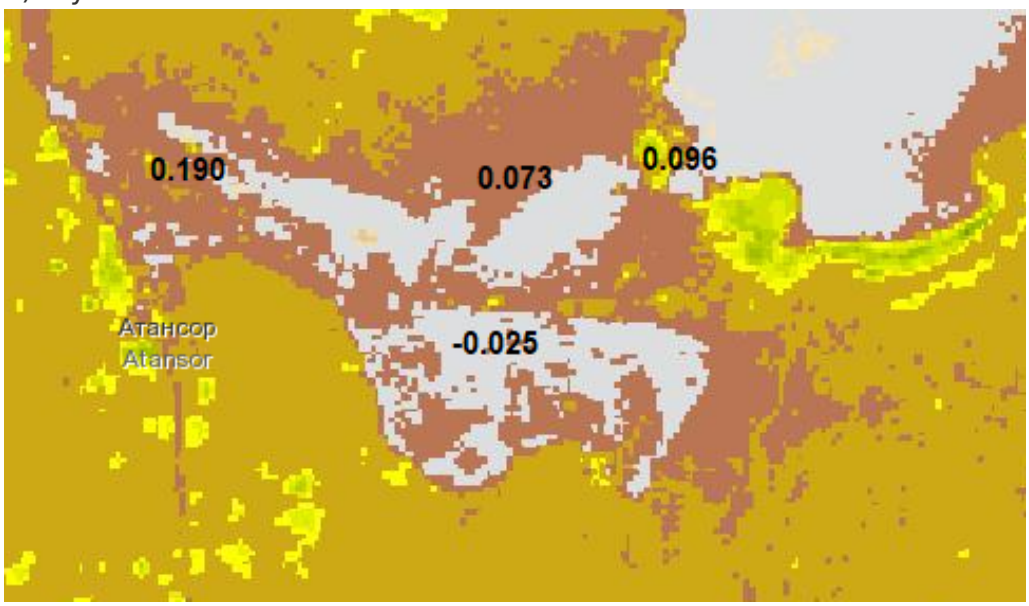
г) Спутниковый снимок от 10.05.2024 г.

Рисунок 3 – Спутниковый снимок с границами карьера «Атансор» (а) и с показателями нормализованного относительного индекса растительности NDVI за май: 2022(б) ,2023(в), 2024(г) гг.

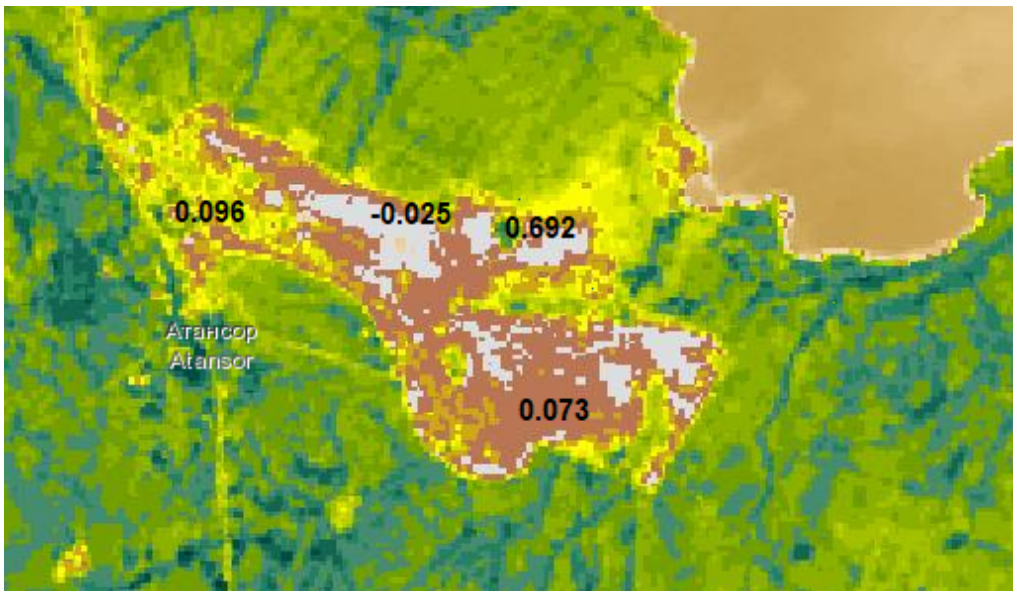
В районе карьера «Атансор» выпали ливневые осадки: в 2022 году в мае (80 мм) и августе (110 мм), в 2024 году в мае (165 мм), июне (90 мм), июле (120 мм) и августе (474 мм). При норме 173 мм осадков за май-август в 2022 году выпало осадков- 332 мм, а в 2024 году зафиксирован рекордный приход осадков -881 мм.



а)Спутниковый снимок от 24.08.2022 г.



б)Спутниковый снимок от 03.08.2023 г.



в)Спутниковый снимок от 01.08.2024 г.

Рисунок 4 – Спутниковый снимок с показателями нормализованного относительного индекса растительности NDVI на карьере «Атансор» за август: 2022(а), 2023(б), 2024(в) гг.

Обсуждение.

При насыщении воды уменьшаются нормальные напряжения, что снижает фактор безопасности откосов и увеличивает массу породного массива под действием гидростатического давления. Фильтрационные потоки ведут к вымыванию мелких частиц и образованию каналов текучести, что приводит к внутренней эрозии и возможному смещению откосов. Переувлажнение может вызвать выпучивание подошвы и поперечные трещины, указывающие на пластическую деформацию горных масс.

Сильное переувлажнение прибортовых массивов карьера приводит к значительному повышению порового давления в породе, что уменьшает эффективное давление, удерживающее частицы грунта вместе. В условиях насыщения вода заполняет поры скальных и грунтовых масс, снижая внутреннее трение и общую когезию материала, что критически сказывается на устойчивости откосов [20]. Интенсивный фильтрационный поток в области подошвы бортов ведёт к постепенному вымыванию мелкодисперсных фракций и выдавливанию глинистых минералов, что проявляется в виде внутренней эрозии и образование каналов текучести [21]. В результате этих процессов может возникнуть локальное смещение бортов с последующим обрушением в виде крупномасштабных срезов или блоковых обвалов, особенно при отсутствии надёжной дренажной системы.

Заключение.

Анализ влияния интенсивных осадков и избыточной влагообеспеченности на гидромеханическую деградацию прибортового массива карьера на территории

северного казахстана проводится с целью проведения комплексной оценки параметров водно-механических процессов, выявления закономерностей изменения прочностных и деформационных характеристик горных пород, определения критических условий возникновения локальных обрушений и разработки рекомендаций по оптимизации инженерно-гидрологических мероприятий для обеспечения устойчивости откосов.

По результатам проведённых исследований выявлены следующие факторы, которые оказывают влияние на гидромеханическую деградацию прибортового массива карьера в виде размывов и эрозии: ливневые осадки в мае, июле и августе 2022 года и в мае, июне, июле, августе 2024 года.

В переувлажнённых прибортовых зонах карьера нередко формируются выпучивание подошвы и поперечные трещины в теле откоса, свидетельствующие о пластической деформации горных масс. Достижение критического уровня влажности приводит к интенсивному снижению упругости пород, что способствует развитию пластичных зон и постепенному изгибу бортов. В полевых условиях это проявляется в виде прогибов и проседаний откосов, усиливающихся по мере накопления воды, что ускоряет развитие трещиноватости и лобовых обнажений слабых слоёв. Анализы случаев обрушений карьерных бортов показывают, что основными причинами являются нарушение дренажа, высокое наполнение пор и отсутствие надлежащего контроля водного режима прибортовых массивов. Предотвращение подобных деформаций требует комплексных мероприятий по отводу поверхностных и подземных вод, установки дренажных каналов и регулярного мониторинга поровых давлений.

Удаление горной массы при формировании карьера изменяет первичное распределение напряжений, приводя к локальным концентрациям в опорных сечениях уступов. В сочетании с неоднородностью породного состава и наличием трещин это вызывает снижение коэффициента запаса устойчивости откосов. При отсутствии адаптации проектных параметров — угловой наклон уступов, инженерной поддержки и эффективной системы дренажа — возникают выраженные деформационные процессы, способные привести к оползням и обрушениям горных массивов. Для повышения безопасности разработки целесообразно корректировать углы откосов в зависимости от механических свойств пород, применять армирование, использовать подпорные конструкции и обеспечивать надёжную систему отвода подземных и поверхностных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Salnikov V., Talanov Y., Polyakova S., Assylbekova A., Kauazov A., Bultekov N., Musralinova G., Kissebayev D., Beldeubayev Y. An assessment of the present trends in

temperature and precipitation extremes in Kazakhstan // Climate. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – P. 33. – DOI: 10.3390/cli11020033. 2. Кайгородова Е. В., Волков Д. Н. Подсчет объемов добычи руды на карьере «Атансор» // Наука и современное образование: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Наука и Просвещение, 2024. – С. 13–17. 3. Чанышев А. И. Построение паспортных зависимостей горных пород в допредельной и запредельной областях деформирования // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2002. – № 5. – С. 26–31. 4. Ксендзенко Л. С., Лосев А. С. Оптимизация вычисления параметра периодичности модели зонального разрушения массива горных пород // Горные науки и технологии. – 2016. – № 2. – С. 43–49. 5. Низаметдинов Ф. К., Олейникова Е. А., Нагибин А. А. Практика использования технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 272–278. – DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-272-278. 6. Пыталев И. А., Заляднов В. Ю., Габдулхаев Р. К., Семавина Ю. О. Устойчивость деформированных бортов карьеров: тематическое исследование северного борта Светлинского карьера // SMTS. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 33–45. – URL: https://transgeos.ru/index.php/SMTS/article/view/6 (дата обращения: 18.02.2026). 7. Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Низаметдинов Ф. К., Олейникова Е. А. Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера «Кентобе» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 6. – С. 120–126. – DOI: 10.15372/FTPRPI20180612. 8. Метеорологический информационный сайт «Казгидромет» / Респ. гос. предприятие «Казгидромет». – Астана, 2024. – URL: http://www.kazhydromet.kz (дата обращения: 18.02.2026). 9. Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Олейникова Е. А., Касымжанова А. Е. Моделирование устойчивости ограждающих сооружений золоотвала // Горные науки и технологии. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 303–312. – DOI: 10.17073/2500-0632-2022-11-30. 10. Феофанов Г. Л., Аушев Е. В., Фрянов В. Н., Лысенко М. В., Айкин А. В. Особенности деформирования вмещающих пород подземных горных выработок в неоднородном поле геотектонических напряжений на примере пласта В12 шахты «Северная» АО «Ургалуголь» // Уголь. – 2017. – № 3. – С. 16–23. 11. Kusainova A. A., Mezentseva O. V., Tusupbekov Zh. A., Volkovskaya N. P. Spatial distribution of moisture deficit on the territory of the south of Western Siberia and Northern Kazakhstan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 677. – P. 042078. – DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042078. 12. Карнацевич И. В. Массовые расчеты ежесуточных сумм испарения с поверхности водосборов по данным наблюдений метеостанций // Омский научный вестник. – 2013. – № 1(118). – С. 241–246. 13.

Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Tutanova M. S. [et al.]. Modern data analysis technologies used for geomechanical monitoring. Review // Комплексное использование минерального сырья. – 2023. – № 3(326). – С. 5–15. – DOI: 10.31643/2023/6445.23. 14. Новоселов С. В., Панихидников С. А. Основной путь ликвидации взрывов метана в высоконагруженных очистных забоях угольных шахт, опасных по газу, – предупреждение создания взрывоопасной метановоздушной смеси // Уголь. – 2018. – № 4. – С. 31–38. 15. Программа производственного экологического контроля рудника «Атансор». – Министерство экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. – Приказ № 250 от 14.07.2021 г. 16. Долгоносов В. Н., Шпаков П. С., Низаметдинов Ф. К., Ожигин С. Г., Ожигина С. Б., Старостина О. В. Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов. – Караганда: Соната-Полиграфия, 2009. – 339 с. 17. Хмырова Е. Н., Бесимбаева О. Г., Олейникова Е. А., Токкужин Е. А. Исследование процесса деформирования прибортового массива качарского карьера на основе внедрения инновационных технологий // Горные науки и технологии. – 2016. – № 4. – С. 10–20. 18. Ютяев Е. П., Садов А. П., Мешков А. А., Хаутиев А. М., Тайлаков О. В., Уткаев Е. А. Оценка фильтрационных свойств угля в гидродинамических испытаниях дегазационных пластовых скважин // Уголь. – 2017. – № 11. – С. 24–30. 19. Мезенцева О. В., Кусаинова А. А. Особенности многолетней изменчивости увлажнения ландшафтов Акмолинской области Республики Казахстан по данным спутниковой съемки // Природообустройство. – 2023. – № 5. – С. 95–102. – DOI: 10.26897/1997601120235-95-102. 20. Курленя М. В., Барышников В. Д., Гахова Л. Н. Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 20–28. 21. Badr S., Ozbay U., Keiffer S., Salamon M. Three-dimensional strain softening modeling of deep longwall coal mine layouts // FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics. – Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. – P. 233–239.

2. 2. Кайгородова Е. В., Волков Д. Н. Подсчет объемов добычи руды на карьере «Атансор» // Наука и современное образование: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Наука и Просвещение, 2024. – С. 13–17.
3. 3. Чанышев А. И. Построение паспортных зависимостей горных пород в допредельной и запредельной областях деформирования // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2002. – № 5. – С. 26–31.
4. 4. Ксендзенко Л. С., Лосев А. С. Оптимизация вычисления параметра периодичности модели зонального разрушения массива горных пород // Горные науки и технологии. – 2016. – № 2. – С. 43–49.

5. 5. Низаметдинов Ф. К., Олейникова Е. А., Нагибин А. А. Практика использования технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 272–278. – DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-272-278.
6. 6. Пыталев И. А., Заляднов В. Ю., Габдулхаев Р. К., Семавина Ю. О. Устойчивость деформированных бортов карьеров: тематическое исследование северного борта Светлинского карьера // SMTS. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 33–45.
7. 7. Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Низаметдинов Ф. К., Олейникова Е. А. Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера «Кентобе» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 6. – С. 120–126. – DOI: 10.15372/FTPRPI20180612.
8. 8. Метеорологический информационный сайт «Казгидромет» / Респ. гос. предприятие «Казгидромет». – Астана, 2024.
9. 9. Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Олейникова Е. А., Касымжанова А. Е. Моделирование устойчивости ограждающих сооружений золоотвала // Горные науки и технологии. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 303–312. – DOI: 10.17073/2500-0632-2022-11-30.
10. 10. Феофанов Г. Л., Аушев Е. В., Фрянов В. Н., Лысенко М. В., Айкин А. В. Особенности деформирования вмещающих пород подземных горных выработок в неоднородном поле геотектонических напряжений на примере пласта В12 шахты «Северная» АО «Ургалуголь» // Уголь. – 2017. – № 3. – С. 16–23.
11. 11. Kusainova A. A., Mezentseva O. V., Tusupbekov Zh. A., Volkovskaya N. P. Spatial distribution of moisture deficit on the territory of the south of Western Siberia and Northern Kazakhstan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 677. – P. 042078. – DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042078.
12. 12. Карнацевич И. В. Массовые расчеты ежесуточных сумм испарения с поверхности водосборов по данным наблюдений метеостанций // Омский научный вестник. – 2013. – № 1(118). – С. 241–246.
13. 13. Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Tutanova M. S. [et al.]. Modern data analysis technologies used for geomechanical monitoring. Review // Комплексное использование минерального сырья. – 2023. – № 3(326). – С. 5–15. – DOI: 10.31643/2023/6445.23.
14. 14. Новоселов С. В., Панихидников С. А. Основной путь ликвидации взрывов метана в высоконагруженных очистных забоях угольных шахт, опасных по газу, – предупреждение создания взрывоопасной метановоздушной смеси // Уголь. – 2018. – № 4. – С. 31–38.

15. 15. Программа производственного экологического контроля рудника «Атансор». – Министерство экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. – Приказ № 250 от 14.07.2021 г.
16. 16. Долгоносов В. Н., Шпаков П. С., Низаметдинов Ф. К., Ожигин С. Г., Ожигина С. Б., Старостина О. В. Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов. – Караганда: Соната-Полиграфия, 2009. – 339 с.
17. 17. Хмырова Е. Н., Бесимбаева О. Г., Олейникова Е. А., Токкужин Е. А. Исследование процесса деформирования прибортового массива качарского карьера на основе внедрения инновационных технологий // Горные науки и технологии. – 2016. – № 4. – С. 10–20.
18. 18. Ютяев Е. П., Садов А. П., Мешков А. А., Хаутиев А. М., Тайлаков О. В., Уткаев Е. А. Оценка фильтрационных свойств угля в гидродинамических испытаниях дегазационных пластовых скважин // Уголь. – 2017. – № 11. – С. 24–30.
19. 19. Мезенцева О. В., Кусаинова А. А. Особенности многолетней изменчивости увлажнения ландшафтов Акмолинской области Республики Казахстан по данным спутниковой съемки // Природообустройство. – 2023. – № 5. – С. 95–102. – DOI: 10.26897/1997601120235-95-102.
20. 20. Курленя М. В., Барышников В. Д., Гахова Л. Н. Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 20–28.
21. 21. Badr S., Ozbay U., Keiffer S., Salamon M. Three-dimensional strain softening modeling of deep longwall coal mine layouts // FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics. – Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. – P. 233–239.

REFERENCES:

1. 1. Salnikov V., Talanov Y., Polyakova S., Assylbekova A., Kauazov A., Bultekov N., Musralinova G., Kissebayev D., Beldeubayev Y. An assessment of the present trends in temperature and precipitation extremes in Kazakhstan // Climate. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – P. 33. – DOI: 10.3390/cli11020033. 2. Kaygorodova E. V., Volkov D. N. Podschet ob"yomov dobychi rudy na kar'yere «Atansor» // Nauka i sovremennoe obrazovanie: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sb. st. IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2024. – S. 13–17. 3. Chanyshev A. I. Postroenie pasportnykh zavisimostey gornykh porod v dopredel'noy i zapredel'noy oblastyakh deformirovaniya // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2002. – No. 5. – S. 26–31. 4. Ksendzenko L. S., Losev A. S. Optimizatsiya vychisleniya parametra periodichnosti modeli zonal'nogo razrusheniya massiva gornykh porod // Gornye nauki i tekhnologii. – 2016. – No. 2. – S. 43–49. 5. Nizametdinov F. K., Oleynikova E. A., Nagibin A. A. Praktika ispol'zovaniya tekhnologiy lazernogo skanirovaniya v

nablyudeniyakh za deformatsiyami bortov kar'yerov // Interekspo Geo-Sibir'. – 2019. – T. 1, No. 1. – S. 272–278. – DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-272-278. 6. Pytalev I. A., Zalyadnov V. Yu., Gabdulkhaev R. K., Semavina Yu. O. Ustoychivost' deformirovannykh bortov kar'yerov: tematicheskoe issledovanie severnogo borta Svetlinskogo kar'yera // SMTS. – 2022. – T. 12, No. 1. – S. 33–45. – URL: https://transgeos.ru/index.php/SMTS/article/view/6 (data obrashcheniya: 18.02.2026). 7. Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Nizametdinov F. K., Oleynikova E. A. Otsenka i prognoz ustoychivosti bortov kar'yera «Kentobe» // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2018. – No. 6. – S. 120–126. – DOI: 10.15372/FTPRPI20180612. 8. Meteorologicheskiy informatsionnyy sayt «Kazgidromet» / Resp. gos. predpriyatie «Kazgidromet». – Astana, 2024. – URL: http://www.kazhydromet.kz (data obrashcheniya: 18.02.2026). 9. Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Oleynikova E. A., Kasymzhanova A. E. Modelirovanie ustoychivosti ograzhdayushchikh sooruzheniy zolootvala // Gornye nauki i tekhnologii. – 2023. – T. 8, No. 4. – S. 303–312. – DOI: 10.17073/2500-0632-2022-11-30. 10. Feofanov G. L., Aushev E. V., Fryanov V. N., Lysenko M. V., Aykin A. V. Osobennosti deformirovaniya vmeshchayushchikh porod podzemnykh gornykh vyrabotok v neodnorodnom pole geotektonicheskikh napryazheniy na primere plasta V12 shakhty «Severnaya» AO «Urgalugol'» // Ugol'. – 2017. – No. 3. – S. 16–23. 11. Kusainova A. A., Mezentseva O. V., Tusupbekov Zh. A., Volkovskaya N. P. Spatial distribution of moisture deficit on the territory of the south of Western Siberia and Northern Kazakhstan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 677. – P. 042078. – DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042078. 12. Karnatsevich I. V. Massovye raschety ezhesutochnykh summ ispareniya s poverkhnosti vodosborov po dannym nablyudeniy meteostantsiy // Omskiy nauchnyy vestnik. – 2013. – No. 1(118). – S. 241–246. 13. Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Tutanova M. S. et al. Modern data analysis technologies used for geomechanical monitoring. Review // Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya. – 2023. – No. 3(326). – S. 5–15. – DOI: 10.31643/2023/6445.23. 14. Novoselov S. V., Panikhidnikov S. A. Osnovnoy put' likvidatsii vzryvov metana v vysokonagruzhennykh ochistnykh zaboyakh ugol'nykh shakht, opasnykh po gazu, – preduprezhdenie sozdaniya vzryvoopasnoy metanovozdushnoy smesi // Ugol'. – 2018. – No. 4. – S. 31–38. 15. Programma proizvodstvennogo ekologicheskogo kontrolya rudnika «Atansor». – Ministerstvo ekologii, geologii i prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan. – Prikaz No. 250 ot 14.07.2021 g. 16. Dolgonosov V. N., Shpakov P. S., Nizametdinov F. K., Ozhigin S. G., Ozhigina S. B., Starostina O. V. Analiticheskie sposoby rascheta ustoychivosti kar'yernykh otkosov. – Karaganda: Sonata-Poligrafiya, 2009. – 339 s. 17. Khmyrova E. N., Besimbayeva O. G., Oleynikova E. A., Tokkuzhin E. A. Issledovanie

protsessa deformirovaniya pribortovogo massiva kacharskogo kar'yera na osnove vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy // Gornye nauki i tekhnologii. – 2016. – No. 4. – S. 10–20. 18. Yutyaev E. P., Sadov A. P., Meshkov A. A., Khautiev A. M., Taylakov O. V., Utkaev E. A. Otsenka fil'tratsionnykh svoystv uglya v gidrodinamicheskikh ispytaniyakh degazatsionnykh plastovykh skvazhin // Ugol'. – 2017. – No. 11. – S. 24–30. 19. Mezentseva O. V., Kusainova A. A. Osobennosti mnogoletney izmenchivosti uvlazhneniya landshaftov Akmolinskoy oblasti Respubliki Kazakhstan po dannym sputnikovoy s"yemki // Prirodoobustroystvo. – 2023. – No. 5. – S. 95–102. – DOI: 10.26897/1997601120235-95-102. 20. Kurlenya M. V., Baryshnikov V. D., Gakhova L. N. Razvitie eksperimental'no-analiticheskogo metoda otsenki ustoychivosti gornykh vyrabotok // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2012. – No. 4. – S. 20–28. 21. Badr S., Ozbay U., Keiffer S., Salamon M. Three-dimensional strain softening modeling of deep longwall coal mine layouts // FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics. – Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. – P. 233–239.

2. 2. Kaygorodova E. V., Volkov D. N. Podschet ob"yomov dobychi rudy na kar'yere «Atansor» // Nauka i sovremennoe obrazovanie: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sb. st. IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2024. – S. 13–17.
3. 3. Chanyshev A. I. Postroenie pasportnykh zavisimostey gornykh porod v dopredel'noy i zapredel'noy oblastyakh deformirovaniya // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2002. – No. 5. – S. 26–31.
4. 4. Ksendzenko L. S., Losev A. S. Optimizatsiya vychisleniya parametra periodichnosti modeli zonal'nogo razrusheniya massiva gornykh porod // Gornye nauki i tekhnologii. – 2016. – No. 2. – S. 43–49.
5. 5. Nizametdinov F. K., Oleynikova E. A., Nagibin A. A. Praktika ispol'zovaniya tekhnologiy lazernogo skanirovaniya v nablyudeniyakh za deformatsiyami bortov kar'yerov // Interekspo Geo-Sibir'. – 2019. – T. 1, No. 1. – S. 272–278. – DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-272-278.
6. 6. Pytalev I. A., Zalyadnov V. Yu., Gabdulkhaev R. K., Semavina Yu. O. Ustoychivost' deformirovannykh bortov kar'yerov: tematicheskoe issledovanie severnogo borta Svetlinskogo kar'yera // SMTS. – 2022. – T. 12, No. 1. – S. 33–45.
7. 7. Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Nizametdinov F. K., Oleynikova E. A. Otsenka i prognoz ustoychivosti bortov kar'yera «Kentobe» // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2018. – No. 6. – S. 120–126. – DOI: 10.15372/FTPRPI20180612.
8. 8. Meteorologicheskiy informatsionnyy sayt «Kazgidromet» / Resp. gos. predpriyatie «Kazgidromet». – Astana, 2024.

9. 9. Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Oleynikova E. A., Kasymzhanova A. E. Modelirovanie ustoychivosti ograzhdayushchikh sooruzheniy zolootvala // Gornye nauki i tekhnologii. – 2023. – T. 8, No. 4. – S. 303–312. – DOI: 10.17073/2500-0632-2022-11-30.
10. 10. Feofanov G. L., Aushev E. V., Fryanov V. N., Lysenko M. V., Aykin A. V. Osobennosti deformirovaniya vmeshchayushchikh porod podzemnykh gornykh vyrabotok v neodnorodnom pole geotektonicheskikh napryazheniy na primere plasta V12 shakhty «Severnaya» AO «Urgalugol'» // Ugol'. – 2017. – No. 3. – S. 16–23.
11. 11. Kusainova A. A., Mezentseva O. V., Tusupbekov Zh. A., Volkovskaya N. P. Spatial distribution of moisture deficit on the territory of the south of Western Siberia and Northern Kazakhstan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 677. – P. 042078. – DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042078.
12. 12. Karnatsevich I. V. Massovye raschety ezhesutochnykh summ ispareniya s poverkhnosti vodosborov po dannym nablyudeniy meteostantsiy // Omskiy nauchnyy vestnik. – 2013. – No. 1(118). – S. 241–246.
13. 13. Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Tutanova M. S. et al. Modern data analysis technologies used for geomechanical monitoring. Review // Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya. – 2023. – No. 3(326). – S. 5–15. – DOI: 10.31643/2023/6445.23.
14. 14. Novoselov S. V., Panikhidnikov S. A. Osnovnoy put' likvidatsii vzryvov metana v vysokonagruzhennykh ochistnykh zaboyakh ugol'nykh shakht, opasnykh po gazu, – preduprezhdenie sozdaniya vzryvoopasnoy metanovozdushnoy smesi // Ugol'. – 2018. – No. 4. – S. 31–38.
15. 15. Programma proizvodstvennogo ekologicheskogo kontrolya rudnika «Atansor». – Ministerstvo ekologii, geologii i prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan. – Prikaz No. 250 ot 14.07.2021 g.
16. 16. Dolgonosov V. N., Shpakov P. S., Nizametdinov F. K., Ozhigin S. G., Ozhigina S. B., Starostina O. V. Analiticheskie sposoby rascheta ustoychivosti kar'yernykh otkosov. – Karaganda: Sonata-Poligrafiya, 2009. – 339 s.
17. 17. Khmyrova E. N., Besimbayeva O. G., Oleynikova E. A., Tokkuzhin E. A. Issledovanie protsessa deformirovaniya pribortovogo massiva kacharskogo kar'yera na osnove vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy // Gornye nauki i tekhnologii. – 2016. – No. 4. – S. 10–20.
18. 18. Yutyaev E. P., Sadov A. P., Meshkov A. A., Khautiev A. M., Taylakov O. V., Utkaev E. A. Otsenka fil'tratsionnykh svoystv uglya v gidrodinamicheskikh ispytaniyakh degazatsionnykh plastovykh skvazhin // Ugol'. – 2017. – No. 11. – S. 24–30.
19. 19. Mezentseva O. V., Kusainova A. A. Osobennosti mnogoletney izmenchivosti uvlazhneniya landshaftov Akmolinskoy oblasti Respubliki Kazakhstan po dannym sputnikovoy s"yemki // Prirodoobustroystvo. – 2023. – No. 5. – S. 95–102. – DOI:

10.26897/1997601120235-95-102.

20. 20. Kurlenya M. V., Baryshnikov V. D., Gakhova L. N. Razvitie eksperimental'no-analiticheskogo metoda otsenki ustoychivosti gornykh vyrabotok // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2012. – No. 4. – S. 20–28.
21. 21. Badr S., Ozbay U., Keiffer S., Salamon M. Three-dimensional strain softening modeling of deep longwall coal mine layouts // FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics. – Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. – P. 233–239.