

УДК 622:624.131:551.4.042 (476.5)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТКОСАХ БОРТОВ КАРЬЕРА ГЛИН «ЛУКОМЛЬ-1» ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ И ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

А. Н. Галкин¹, А. Б. Торбенко¹, И. А. Красовская¹, А. И. Павловский²

¹Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Московский просп., 33, 210038, Витебск, Беларусь
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Белорусский национальный технический университет,
просп. Независимости, 65, 220013, Минск, Беларусь
E-mail: aipavlovsky@mail.ru

Разработка месторождения глин «Лукомль-1» нередко сопровождается локальными оползнями и другими обрушениями, несмотря на предусмотренные проектом эксплуатации меры безопасности. Значительный ущерб нанесен оползнями, возникшими на отработанных откосах в северо-восточной и восточной частях карьера весной 2023 г. Оползневой деформациям подвергся участок склонов протяженностью свыше 700 м. В перемещение было вовлечено более 55 000 м³ грунта. Проведенные исследования, включающие анализ маркшейдерских данных, геологических материалов; изучение морфологии и строения (структуры) оползней; обводненности, физических и физико-механических свойств пород, слагающих оползневые склоны; сопутствующих геологических процессов и явлений определили факторы возникновения оползневых деформаций откосов в северо-восточной и восточной частях карьера глин. Основными среди них следует считать естественные факторы: аномальное выпадение в зимний период 2022/2023 г. атмосферных осадков, наличие в непосредственной близости от откосов карьера ряда заболоченных понижений и западин и квазиоднородное строение массива глинистых грунтов, обусловленное частым присутствием в глинистом массиве тонких алевритовых прожилок, а также прослоев и линз тонкозернистого песка. Даны рекомендации по предупреждению дальнейшего возникновения и развития оползней на откосах карьера.

Ключевые слова: озерно-ледниковые глины, карьер, природные условия, откосы, оползни, устойчивость склонов.

ВВЕДЕНИЕ

Месторождение глин «Лукомль-1» расположено в Чашникском районе Витебской области, разведано в 1968–1974 гг. Комплексной горно-геологической партией Министерства стройматериалов БССР. Запасы глин месторождения утверждены Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых СССР (протокол № 10361 от 24.02.1988) в качестве глинистой составляющей для производства портландцементов, кирпича глиняного, камней керамических пустотелых, керамзитового гравия и дренажных труб.

Добычные работы на месторождении осуществляются в двух карьерах – южном и северном. Первый из них разрабатывается ОАО «Минский завод строительных материалов» с 1994 г., второй – ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» с 1977 г. Современное положение карьеров данного месторождения характеризуется наличием участков, где возникли потери устойчивости карьерных откосов, сопровождаемые локальными оползневыми и другими деформациями. Согласно фондовым

материалам, впервые такие участки были выявлены при обследовании бортов карьера завода керамзитового гравия в 1978 и 1985–87 гг.

В карьере Минского завода строительных материалов первое значительное обрушение нерабочего борта карьера произошло 6 марта 1996 г. В ноябре 1997 г. оползневые деформации на участке уже рабочего борта карьера, протяженностью 110 м, повлекли за собой разрушение находящихся вблизи железнодорожных путей и смещение вглубь горной выработки на расстояние до 5 м семи железнодорожных платформ, груженых полезным ископаемым. При этом было отмечено, что в карьерах ежегодно можно было наблюдать менее значительные обрушения откосов. Было установлено, что происходят они в основном весной и осенью на участках бортов карьеров протяженностью 100–150 м и высотой 21–29 м, подверженных периодическому замерзанию/оттаиванию и сильному увлажнению.

Весной 2023 г. на отработанных откосах в северо-восточной и восточной частях карьера Новолукомльского завода керамзитового гравия вновь

произошли оползни. Оползневые деформации подвергся участок склонов, протяженностью свыше 700 м. В перемещение было вовлечено более 55 000 м³ грунта.

В рамках договора о выполнении научно-исследовательских работ, заключенного между заводом керамзитового гравия г. Новолукомля и Витебским госуниверситетом им. П. М. Машерова, авторским научным коллективом было проведено обследование участка деформации откосов нербочих северо-восточного и восточного бортов карьера с целью установления вероятных причин возникновения оползневых процессов инженерно-геологическими и дистанционными методами и выработки рекомендаций по предупреждению их дальнейшего развития.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Карьер ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» по разработке месторождения глин «Лукомль-1» располагается в 5 км восточнее от г. Новолукомля и 1,1 км западнее от д. Стражевичи

Чашникского района Витебской области в пределах Сенненской равнины [3], характеризующейся чередованием участков холмисто-моренного рельефа, озерно-ледниковых низин и флювиогляциальных равнин (рис. 1).

В геологическом строении месторождения на глубину разведки до 38,0 м принимают участие отложения четвертичной системы, представленные образованиями верхнего плейстоцена и голоцена. Среди них в соответствии со стратиграфической схемой четвертичных отложений Беларуси [19] выделяются:

- 1) моренные отложения поозерского горизонта верхнего плейстоцена (gQ_3pz);
- 2) озерно-ледниковые отложения надморенные поозерского горизонта верхнего плейстоцена ($lgQ_3pz_3^s$);
- 3) флювиогляциальные отложения надморенные поозерского горизонта верхнего плейстоцена ($fQ_3pz_3^s$);
- 4) аллювиальные отложения пойм судобльского горизонта голоцена (aQ_4sd);
- 5) болотные отложения судобльского горизонта голоцена (plQ_4sd).

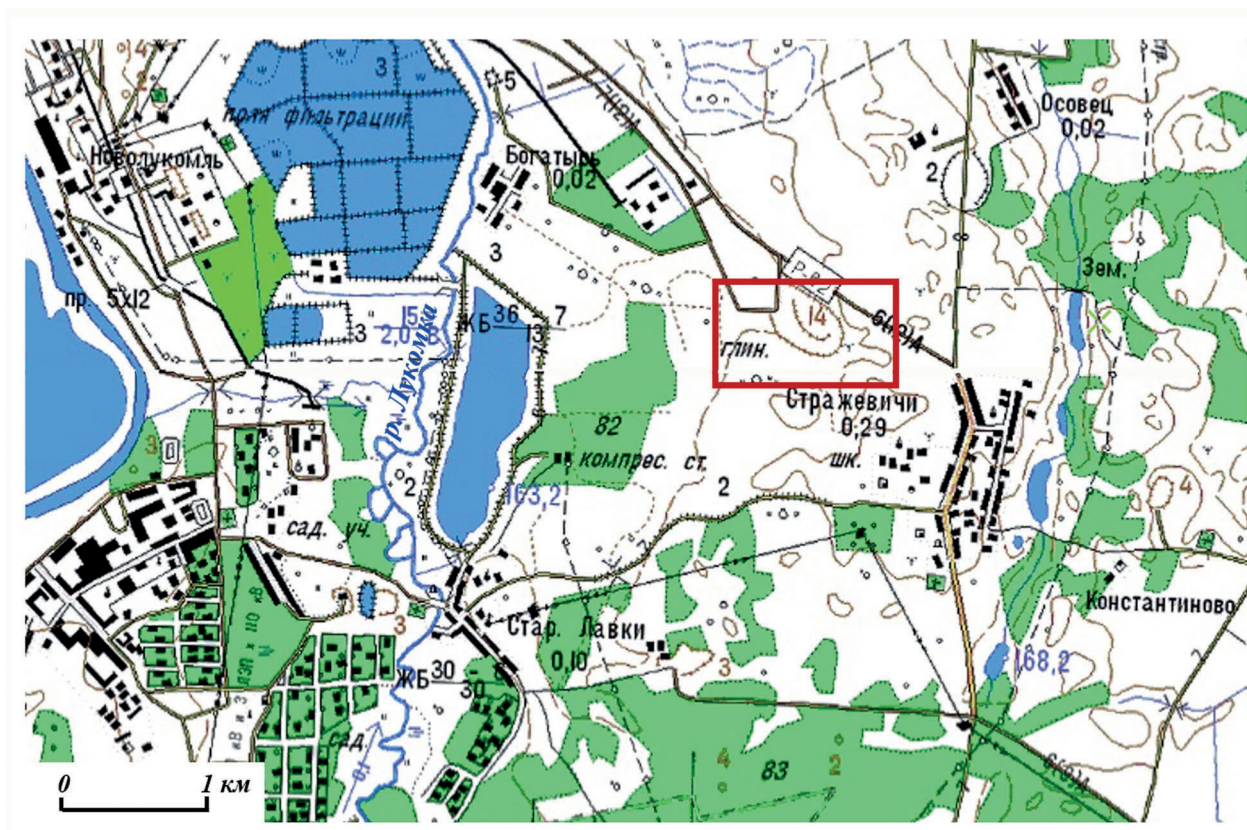


Рисунок 1 – Топографическая схема расположения карьера по разработке месторождения глин «Лукомль-1» (выделен красным прямоугольником)

Моренныя отложения поозерского горизонта (gQ_3pz) рассматриваются как подстилающие продуктивную толщу озерно-ледниковых глин. Залегают они на различных глубинах – от 1,0 до 38,0 м и более, а в некоторых местах, в основном в районе оз. Лукомское, выходят на дневную поверхность. Вскрытая мощность их, по данным буровых работ Комплексной горно-геологической партии (1987), изменяется от 0,4 до 7,6 м. Представлены эти отложения супесями и суглинками красновато- и коричневатобурными, иногда серыми, с содержанием гравия и гальки от единичных зерен до 15–20 %, реже песками, преимущественно тонкозернистыми.

Озерно-ледниковые отложения надморенные поозерского горизонта ($lgQ_3pz_3^s$), получившие широкое распространение на исследуемой территории, залегают преимущественно непосредственно под почвенно-растительным слоем, изредка перекрываясь на небольших участках современными озерно-болотными отложениями или поозерскими озерно-ледниковыми песками. Представлены они глинами, реже тонкослоистыми пылеватыми суглинками, супесями и разнозернистыми песками. Общая их мощность варьирует в широких пределах – от десятков сантиметров (на границе контура разведанного месторождения) до 37,4 м (на западной окраине д. Стражевичи).

Среди *озерно-ледниковых глин* четко различаются две разновидности: красно-бурая и темно-коричневая.

Красно-бурая глина залегают в верхней части грунтовой толщи, занимая в основном северо-западную и северную части площади месторождения, выклиниваясь в центральной. Ее мощность невыдержанная и достигает 13,4 м при средней величине 2,0 м. По многим скважинам эта разновидность глин отсутствует. При этом непосредственно в карьере ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» (восточный борт) ее мощность изменяется от 0,8 до 2,8 м.

Толща красно-бурой глины неоднородна. В ней, начиная от кровли, часто можно встретить вертикально залегающие прослойки алеврита темно-серого и зеленоватого цвета. Контакт с темно-коричневой глиной нечеткий, постепенный.

Темно-коричневая глина также не выдержана по мощности. Ее мощность изменяется от 0,6 до 28,9 м при среднем значении 20,3 м. В карьере завода керамзитового гравия она вскрыта на глубину 18,0 м. По строению также неоднородна. Как и в массиве красно-бурой глины, здесь часты тонкие прожилки темно-серого алеврита (рис. 2а). Встречаются прослои и линзы серовато-желтого тонкозернистого песка мощностью 0,1–1,2 м, нередко обводненного (рис. 2б).

Физические и физико-механические свойства глин варьируют в широких пределах. Естественная влажность их изменяется от 23 до 38 %, плотность грунта в естественных условиях – от 1,85 до 2,00 г/см³, плотность скелета грунта – 1,37–1,63 г/см³, пористость – от 37 до 47 %, коэффициент пористости – от 0,59 до 0,94, число пластичности 17–36; влажность при набухании – 22,7–50,3 %; набухание – 0,3–11,7 %; коэффициент сжимаемости – 0,0024–0,1156 см²/кг; сцепление – 0,37–1,34 кг/см²; угол внутреннего трения – 7–20 град.; коэффициент внутреннего трения – 0,12–0,344.

Глины месторождения «Лукомль-1» средние и высокодисперсные, обладают хорошей пластичностью. По данным геологоразведочных работ, проведенных Комплексной горно-геологической партией в 1985–1987 гг., содержание фракций менее 0,01 мм в них составляет 54,4–96,2 %, в том числе на частицы менее 0,001 мм приходится 32,6–69,3 %. Крупнозернистых включений (фракции более 0,5 мм) в глинах содержится от 0,01 до 8,7 %, в том числе карбонатного материала – от «следов» до 5,1 %.

Химический состав глин относительно выдержанный. Количество SiO₂ в пробах изменяется в интервале 43,7–61,0 %; Al₂O₃ – 12,1–21,3 %; Fe₂O₃ – 4,7–9,6 %; TiO₂ – от «следов» до 1,5 %; CaO – 3,6–10,3 %; MgO – 1,4–3,9 %; K₂O + Na₂O – 3,6–5,2 %; SO₃ – от «следов» до 0,4 %; P₂O₅ – 0,12–0,30 %; потери при прокаливании – 7,7–11,6 %. В их минеральном составе присутствуют гидрослюда и каолинит со следами кальцита, полевого шпата и кварца.

Озерно-ледниковые супесчанно-суглинистые породы на исследуемой территории, согласно фондовым материалам, имеют фрагментарное распространение и вскрыты на различных гипсометрических уровнях. Чаще всего они залегают в верхней части разреза, где фациально замещают красно-бурые (супеси и суглинки) или темно-коричневые (суглинки) глины. Значительно реже суглинки и супеси залегают под толщей глин, в зоне перехода последних к подстилающим пескам и редко встречаются в виде линз и прослоев внутри глинистой толщи, а также в виде линз внутри песчаных прослоев. Суглинки и супеси красно-бурые, темно-коричневые, серые, буровато-серые, обычно тонкие, тощие. Первые из них встречены на глубине от 0,2 до 17,1 м, вторые – супеси – на глубине от 0,2 до 28,7 м. Мощность их изменяется от 0,4 до 4,0 м и от 0,2 до 3,8 м соответственно.

Озерно-ледниковые пески, в основном, тонко- и мелкозернистые, полевошпатово-кварцевые, имеют спорадическое распространение, залегают отдельными разобщенными линзами как в кровле, так и в подошве глинистой толщи. Вскрытая мощность их изменяется от 0,1 до 4,9 м (во вскрыше) и от 0,2 до 5,8 м (в подошве).



а



б

Рисунок 2 – Прослой и линзы в продуктивной глинистой толще:
а – темно-серого алеврита; б – серовато-желтого тонкозернистого песка

Флювиогляциальные отложения надморенные поозерского горизонта ($fQ_3pz_3^s$) распространены в виде небольших участков на юго-востоке территории месторождения, а также восточнее и западнее от него. Залегают непосредственно под растительным слоем. Представлены песками бурыми разных оттенков, тонко-, мелко- и разнозернистыми, полевошпатово-кварцевыми, иногда гравелистыми, с содержанием гравия и гальки от единичных зерен до 15 %, а также песчано-гравийной породой серого и желтовато-серого цветов. Пески в основном карбонатные. Пройденная мощность отложений, по данным Комплексной горно-геологической партии (1987), изменяется от 2,0 до 8,9 м.

Аллювиальные отложения пойм судобльско-го горизонта (aQ_4sd) приурочены к долине р. Лукомки, залегают с поверхности под растительным слоем. Представлены они песками бурыми и желто-бурыми, мелко- и разнозернистыми, полевошпатово-кварцевыми с включением гравия и гальки до 14 %. Пески в основном карбонатные (14,5 %). На полную мощность не пройдены. Вскрытая мощность составляет 5,0 м.

Болотные отложения судобльского горизонта (plQ_4sd) не имеют широкого распространения в пределах месторождения, приурочены в основном к пониженным формам рельефа, залегают с поверхности. Представлены они торфом желто-бурым, черным, темно-серым, серовато-черным, рыхлым, с остатками неразложившейся растительности. Мощность болотных отложений изменяется от 0,2 до 1,0 м.

Гидрогеологические условия территории исследований относительно простые и связаны в основном с двумя водоносными горизонтами: а) подземными водами типа «верховодка», приуроченными к песчано-глинистой толще отложений, перекрывающей залежь озерно-ледниковых глин; б) напорными подземными водами поозерского водно-ледникового водоносного комплекса, приуроченного к песчаным прослоям нижней части продуктивной глинистой толщи и подстилающим пескам, залегающим между озерно-ледниковыми глинами и поозерской мореной.

Согласно фондовым материалам, воды **верховодки** имеют ограниченное в плане распространение

и формируются в отрицательных формах рельефа кровли продуктивной глинистой толщи, вскрыты на глубинах от 0,3 до 6,0 м. Они безнапорны, приурочены к современным озерно-болотным и поозерским надморенным озерно-ледниковым отложениям, литологически представленным тонко- и мелкозернистыми, реже среднезернистыми песками, песчано-гравийным материалом или пылеватой супесью. Мощность верховодки изменяется от 0,3 до 3,1 м, в пределах района работ до 2,5 м. Питание ее происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. Из-за незначительной мощности водонасыщенного слоя верховодка образует, как правило, лишь временные скопления воды и носит сезонный характер. Наибольшее развитие эти воды получают весной после снеготаяния или в осеннее время в период обильного выпадения дождевых осадков. Гидравлической связи с речными водами они не имеют.

Фильтрационные свойства пород верховодки различные, изменяются довольно в широких пределах в зависимости от литологического состава. Их коэффициент фильтрации варьирует от десятых и сотых долей до 2 м/сут, а водопроницаемость не превышает 5 м²/сут.

Воды верховодки пресные с минерализацией 0,26–0,39 г/дм³, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, мягкие и умеренно жесткие (общая жесткость 2,94–4,74 мг-экв/дм³), кислые и нейтральные (рН 6,5–7,0), обладают выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону (карбонатная жесткость 2,8–4,3 мг-экв/дм³, что превышает допустимую норму – 2,14 мг-экв/дм³).

Подземные воды поозерского водно-ледникового водоносного комплекса, по данным ранее проведенных геологоразведочных работ, вскрыты на глубинах от 9,4 до 34,4 м, приурочены к озерно-ледниковым надморенным тонко- и мелкозернистым, нередко глинистым пескам. Мощность горизонта не выдержана и колеблется от 0,2 до 5,8 м, составляя в среднем 2,0 м.

По гидравлическому признаку водоносный комплекс в целом напорно-безнапорный. В пределах исследуемой территории воды комплекса обладают напором, его величина изменяется от 1,4 до 14,5 м, в среднем составляя 4,9 м, пьезометрические уровни устанавливаются на отметках 146,0–178,3 м. Питание водоносного комплекса осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока подземных вод из смежных горизонтов за пределами месторождения. Дренируется он речной сетью и частично разгружается в крупных озерных котловинах. Уровненный режим подземных вод находится в тесной взаимосвязи с климатическими факторами и характеризуется сезонными колебаниями. По данным режимных наблюдений, максимальное положение уровней отмечается в период весеннего

половодья, минимальное – в летнюю межень. Амплитуда колебания уровней составляет 0,4–0,7 м.

Воды комплекса пресные с минерализацией 0,64–0,67 г/дм³, гидрокарбонатные натриевые, умеренно жесткие (общая жесткость 3,36–3,37 мг-экв/дм³), с рН 6,9–7,1, обладают выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону (карбонатная жесткость 3,36–3,37 мг-экв/дм³, что выше допустимой нормы).

Современные геологические и инженерно-геологические процессы на территории исследований не получили столь широкого развития. В существующих здесь природных условиях, где рельеф имеет преимущественно равнинный характер, а верхняя часть разреза повсеместно сложена породами без жестких связей, возникновение и активность данных процессов будут определяться, в первую очередь, характером теплообеспеченности и увлажненности территории, а также составом отложений и расчлененностью рельефа.

В пределах изучаемой нами территории, наряду с возникающими здесь проявлениями оползневых процессов (как предмета исследований их характеристика будет рассмотрена отдельно), развиты выветривание, подтопление территории подземными водами, затопление с заболачиванием пониженных участков поверхностными водами, суффозия, плоскостная эрозия и нарушение естественного стока поверхностных вод. Они часто связаны между собой, активизируются в связи с хозяйственной деятельностью и могут оказывать отрицательное влияние на осуществление какой-либо хозяйственной деятельности, в том числе на ведение горных работ.

Выветривание – совокупность физических, физико-химических и биохимических процессов, происходящих в приповерхностной части литосферы при взаимодействии горных пород с атмосферой, гидросферой и биосферой (агентами выветривания) и приводящих к изменению состава, строения, состояния и свойств горных пород. Суть этого процесса сводится к физическому разрушению и химическому и биохимическому разложению материнских горных пород под действием многочисленных факторов, таких как колебания температуры, расклинивающее действие замерзающей воды, воздействие кислорода, углекислоты, органических кислот и т.д. Наряду с природными факторами, все виды выветривания могут развиваться и под влиянием техногенных факторов. Выветривание, являясь подготовительным процессом для большинства геологических процессов и явлений, существенно видоизменяется по своим масштабам, интенсивности и распространению под влиянием человеческой деятельности. Проявляется так называемое «техногенное выветривание», являющееся по своей

сути условным. Оно относится не только к техногенным факторам процесса, но и к формированию искусственных обнажений – объекта развития выветривания – в горных выработках, дорожных выемках, на насыпных сооружениях и т.п. При этом сам процесс выветривания на техногенных обнажениях может развиваться под влиянием природных, техногенных и природно-техногенных факторов в различном сочетании. Главными отличительными чертами техногенного выветривания являются молодость и незаконченность процесса, маломощная, усеченная как сверху, так и снизу кора выветривания, небольшие масштабы обнажений, преобладание физического выветривания и т.д.

Процессы подтопления и затопления. Эти процессы могут проявляться в понижениях рельефа, сложенных маломощными песчаными породами, подстилаемыми глинистыми слабопроницаемыми грунтами с низкими коэффициентами фильтрации. Их интенсивность будет определяться продолжительностью обильных осадков.

Суффозия. Ее возникновение наиболее вероятно в откосах, сложенных песчано-гравийно-галечниковыми отложениями с прослоями глин, особенно в условиях подтопления территории. Этот процесс может также проявляться и в нижней части откоса, сложенной песчаными породами и представляющей собой область разгрузки подземных вод поозерского водно-ледникового водоносного комплекса.

Плоскостная эрозия пользуется на исследуемой территории более широким распространением по сравнению с другими процессами. Она наблюдается при крутизне поверхности от 1° и более. Ее формирование связано с атмосферными осадками, которые в виде дождей или талой воды стекают по естественным склонам и искусственным откосам и образуют на их поверхности либо пластовые, либо струйчатые (ручейковые) потоки. Толщина таких потоков может изменяться от нескольких миллиметров до первых десятков сантиметров, в зависимости от особенностей строения и морфологии поверхности склонов. В результате струйчатого размыва на склонах образуется временная эрозионная или ручейковая сеть, обладающая различной способностью транспорта продуктов размыва.

Естественный **рельеф** района исследований волнистый, его формы пологие, сглаженные, абсолютные отметки колеблются от 163,6 м (в долине р. Лукомки) до 193,6 м (в северной части месторождения в пределах конечно-моренной возвышенности), преобладают отметки 175,0–185,0 м.

Климат района месторождения умеренно-континентальный, с теплым влажным летом и от-

носительно снежной и ветреной зимой. В течение года температура здесь обычно колеблется от –9 до +23 °С и редко бывает ниже –21 °С или выше +29 °С. Продолжительность теплого сезона составляет 3,6 месяца, с 17 мая по 6 сентября, с максимальной среднесуточной температурой выше +18 °С, холодного сезона – 3,9 месяца, с 17 ноября по 12 марта, с минимальной среднесуточной температурой ниже 2 °С [7]. Среднегодовое количество осадков на территории исследований превышает 650 мм. Дождливая часть года длится 10 месяцев, с 1 марта по 1 января, с количеством дождевых осадков за скользящий 31-дневный период не менее 13 мм. Продолжительность же снежной части года составляет 5,7 месяца, с 23 октября по 13 апреля, с количеством снега за скользящий 31-дневный период не менее 25 мм. Месяц с наибольшим количеством дождевых осадков – июнь, со средним количеством осадков 68 мм, а с наибольшим количеством снеговых осадков – январь, со средним количеством снега 165 мм [7]. При этом надо заметить, что по данным наблюдений Белгидромета [8] зимний период 2022/2023 г. в районе месторождения, как и всей Витебской области в целом, характеризовался аномально высоким количеством выпавших атмосферных осадков – более чем в 1,5 раза по сравнению с предыдущими годами. Причем выпадали осадки преимущественно в виде снега, мокрого снега и дождя.

Гидрографическая сеть района исследований представлена р. Лукомкой и сетью небольших мелиоративных каналов (рис. 1). Река Лукомка протекает к западу от карьеров на расстоянии 2,0 км. Она вытекает из оз. Лукомское и впадает за пределами месторождения в р. Уллу. Ширина долины реки составляет 0,4–0,6 км, а ее поймы 0,2–0,5 км. Русло извилистое, шириной 5–12 м; глубина реки составляет 0,9–1,7 м, абсолютная отметка уреза воды – 163,2 м. Скорость течения воды в реке невысокая и изменяется от 0,1 до 0,3 м/с. Среднегодовой расход в устье составляет 5,4 м³/с [1].

К востоку от карьера на восточной окраине д. Стражевичи расположены 4 безымянных озера различных размеров и конфигурации (рис. 1). Крупные из них имеют площадь около 20–25 тыс. м² и глубину до 5 м; отметка уреза воды в озерах составляет 168,2 м.

Почвы района исследований преимущественно дерново-подзолистые. Ввиду тяжелого гранулометрического состава автоморфные почвы здесь встречаются реже, чем их заболоченные аналоги, которые формируются на выровненных понижениях с затрудненным стоком поверхностных вод или близким залеганием грунтовых вод.

По гранулометрическому составу эти почвы подразделяются на суглинистые, супесчаные и песчаные. В зависимости от степени избыточного увлажнения среди них выделяются слабogleеватые с признаками временного заболачивания, глееватые и глеевые с сильно выраженным сплошным глеевым горизонтом. По строению генетического профиля дерново-подзолистые заболоченные почвы сходны с дерново-подзолистыми, однако в одном или нескольких горизонтах всегда отражены признаки заболачивания. По данным фондовых материалов, средняя глубина промерзания почв под снегом в районе составляет 0,4–0,6 м, в бесснежные зимы достигает 1,35 м.

Территория исследований слабо залесена, лесные участки приурочены к приконтурной полосе месторождения глин.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для установления причин возникновения и развития опасных оползневых процессов в откосах северо-восточного и восточного бортов карьера завода керамзитового гравия был выполнен комплекс инженерно-геологических исследований, предполагающих изучение:

- морфологии и строения (структуры) оползней;
- обводненности, физических и физико-механических свойств пород, слагающих оползневые склоны;
- сопутствующих геологических процессов и явлений;
- динамики развития оползневых явлений;
- соотношения усилий (сдвигающих и удерживающих), определяющих равновесие масс горных пород, слагающих оползень (проводится посредством анализа устойчивости оползневого склона).

Для получения информации о морфологии, строении оползня, наличии на склонах подземных вод (и зон повышенной влажности грунтов) использовались традиционные маршрутные наблюдения [14] с привлечением фотосъемки и беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Отбор образцов для определения физических и физико-механических свойств горных пород оползневых массивов осуществлялся по стандартной методике [4] из обнажений склонов и неглубоких скважин, пробуренных с помощью ручного бурового инструмента «Бур геолога».

Данные о физических и физико-механических свойствах грунтов, полученные лабораторными испытаниями [5; 6], сопоставлялись с имеющимися материалами изыскательских работ прошлых лет,

включая рекомендации, указания и т.п. [9; 11; 15; 16; 18].

Сопутствующие геологические процессы и явления изучались также в ходе маршрутных наблюдений [2; 14] с привлечением фотосъемки и беспилотного летательного аппарата.

Для анализа динамики развития оползневых явлений на склонах карьера использовались материалы беспилотной съемки апреля и октября 2023 г., а также картографические материалы предыдущих лет. Для съемки использовался БПЛА Phantom4 позиционирование которого осуществлялось с точностью 4–5 см с помощью модуля RTK. Обработка и сравнение материалов весенней и осенней съемки 2023 г. проводились с привлечением инструментария программного обеспечения Agisoft Metashape, QGIS и SAGA.

Полученные ортофотопланы и цифровые модели местности (ЦММ) впоследствии способствовали объективному доказательству существования относительно стабильного состояния оползней в течение года. Кроме того, на базе полученных данных была построена модель формирования поверхностного стока на исследуемой территории, которая позволила судить о возможном застойном переувлажнении участков, примыкающих к северному и особенно восточному бортам карьера, в случае избыточного выпадения осадков.

Все полевые исследования участков развития оползней в откосах бортов карьера проводились в два этапа. На первом из них проводились все морфологические и морфометрические исследования в зоне развития оползней и прилегающей к ней территории, осуществлялся отбор монолитов грунтов из отработанных откосов для лабораторных анализов и испытаний, определялись основные физические и физико-механические свойства грунтов.

Второй этап был нацелен на установление изменений в состоянии оползневых участков с дополнительным отбором образцов грунта из неглубоких скважин на прилегающей к участкам местности и определения их свойств.

Одним из ключевых методов в исследовании оползневых процессов является изучение соотношения сдвигающих и удерживающих усилий, определяющих равновесие масс грунтов, слагающих склон или откос. Такое изучение основывается на оценке устойчивости оползневого склона.

В отечественной практике из инженерных методов расчета устойчивости склоновых поверхностей в однородной (квазиоднородной) среде, что соответствует объекту наших исследований, наибольшее распространение получил метод предельного равновесия.

Для удобства все графические построения и расчеты производились с помощью программы «Fisenko_M-2021», разработанной С. В. Смолич, доцентом кафедры прикладной геологии и технологии геологической разведки Забайкальского государственного университета (Российская Федерация), в соответствии с нормативными документами и методическими указаниями [10; 13; 17; 18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведения морфологических исследований было установлено, что на участке развития рассматриваемых склоновых процессов имеют место проявления оползней двух форм плановых очертаний: фронтальные и циркообразные. Первые из них приурочены к восточному (1а) и юго-восточному (1б) борту карьера, имеют субмеридиональное направление; вторые сформировались в северо-восточной (2а) и восточной (2б) частях карьера в направлении склоновых поверхностей перпендикулярно фронтальным (рис. 4).

Фронтальные оползни по положению поверхности скольжения относятся к асеквентным, по механизму смещения – к оползням выдавливания (сжатия). На механизм их возникновения указывают блоковое строение и фронтальные очер-

тания в плане (протяженность L – 300 и 154 м, ширина B – 50–80 м и 30–50 м соответственно). Поверхность оползней ступенчатая, террасовидная (рис. 5). Сформированные оползневые уступы большей частью наклонены в сторону коренного массива. Характерны протяженные непрерывные трещины отрыва, которые расположены сверху по контакту оползневых тел с коренным массивом и по границам между оползневыми блоками, а также по контуру образуемых валов сжатия перед блоками и в нижней части склона. Высота оползневых тел на наблюдаемых участках – 18–21 м. Стенки отрыва оползней крутопадающие, наиболее высокие в центральной части верхних блоков. Поверхности скольжения при отделении оползневых блоков от коренного массива почти отвесные в верхней части, криволинейные, близкие к круглоцилиндрическому очертанию. В нижних своих частях они выполаживаются и соединяются с почти горизонтальными поверхностями скольжения ранее сместившихся оползневых блоков, составляющих тело оползней. Каких-либо выходов подземных вод или сильно увлажненных участков в разных частях оползней не выявлено. Поверхность оползней покрыта травянисто-кустарниковой растительностью. Направление роста кустарников в основном вертикальное.

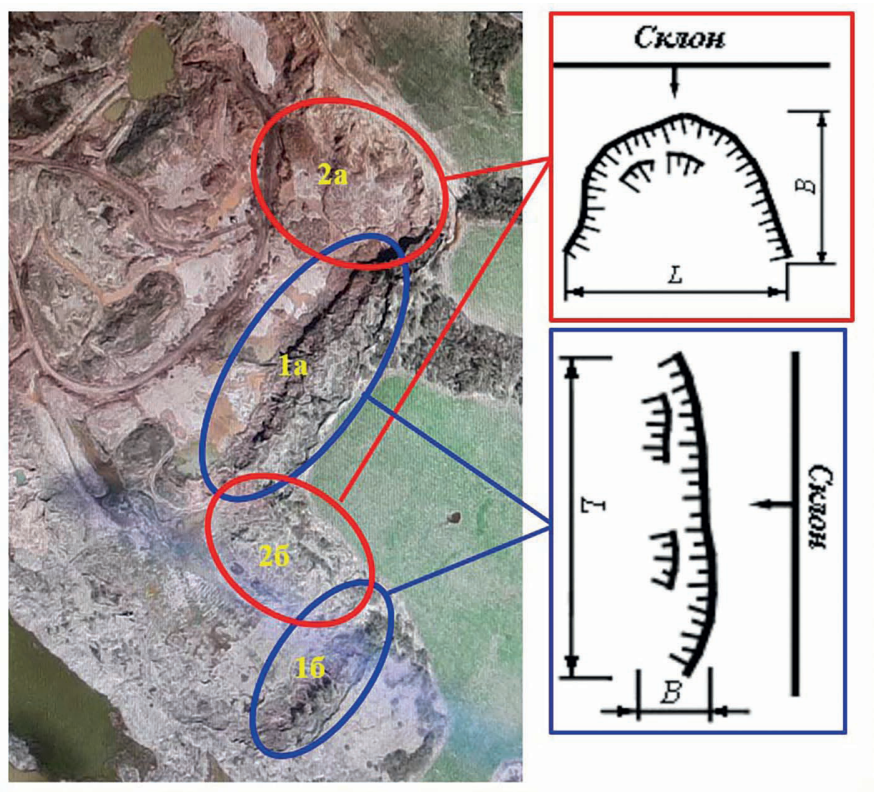


Рисунок 4 – Схема расположения оползней в бортах карьера по разработке месторождения глин «Лукомль-1» ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль». Оползни: 1 а, б – фронтальные; 2 а, б – циркообразные

Циркообразные оползни по положению поверхности скольжения и механизму смещения идентичны фронтальным, отличаясь от последних лишь формой плановых очертаний, – главный уступ полукругом окаймляет понижение (или амфитеатр) в рельефе склона, в пределах которого располагается оползень (рис. 6).

Размеры их составляют 160 и 114 м по фронту при ширине захвата склона 85–90 м и амплитуде смещения 7–10 м и 2,5–4 м соответственно. Стенки отрыва оползней крутые, книзу переходящие в поверхности круглоцилиндрических очертаний. Рельеф оползневых тел волнисто-бугристый, осложненный поперечными уступами и валами высотой 1,5–3 м. Поверхность валов испещрена продольными и поперечными трещинами и рытвинами. Вдоль главного уступа на расстоянии 0,7–1,5 м от его бровки на поверхности массива местами наблюдаются

вертикальные трещины разной глубины, ширины и протяженности (рис. 7).

Выходов подземных вод и сильно увлажненных участков в стенках отрыва и у подножья оползневых тел не выявлено. Поверхность оползней покрыта травянистой и древесно-кустарниковой растительностью. Направление роста деревьев и кустарников преимущественно вертикальное, за исключением отдельных наклоненных деревьев в нижней части оползня.

Обследование прилегающей к карьеру территории показало, что в непосредственной близости от оползневых участков располагается несколько относительно крупных (на северо-востоке, востоке и юго-востоке от горной выработки) и ряд мелких естественных заболоченных западин, которые в весенний и осенний периоды при заполнении талыми и дождевыми водами становятся причиной переувлажнения грунтовых массивов (рис. 8).



а



б

Рисунок 5 – Ступенчатая (а) и террасовидная (б) поверхности оползней



Рисунок 6 – Циркообразный оползень выдавливания в северо-восточной части карьера



Рисунок 7 – Трещины на поверхности грунтового массива вдоль главного оползневого уступа в северо-восточной части карьера

Результаты повторного обследования оползневых склонов, проведенного во второй декаде октября 2023 г., показали, что оползни находятся в состоянии относительного покоя. В то же время на оползневом участке в северо-восточной части

карьера отмечен размыв базиса денудации оползня, а также увеличение геометрических параметров трещин на поверхности тела оползня и грунтового массива вдоль главного уступа.

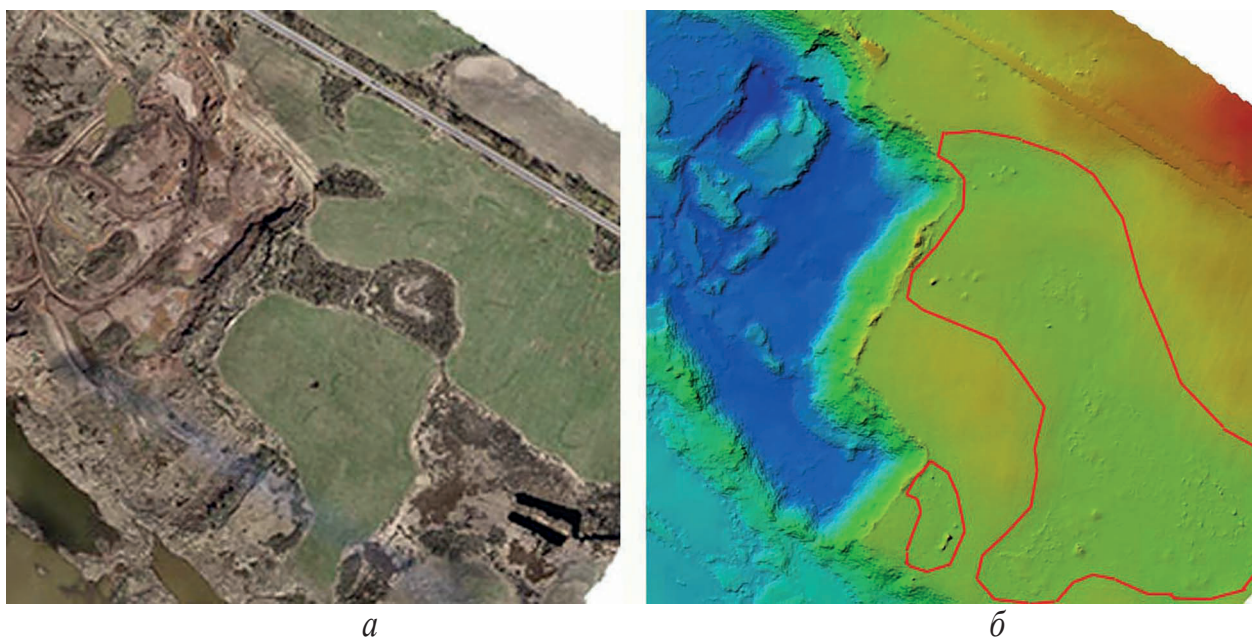


Рисунок 8 – Ортофотоплан северо-восточного и восточного бортов карьера по добыче глин «Лукомль-1» (а) и модель формирования поверхностного стока на прилегающих к ним территориях (б). Красной линией показана граница распространения естественных заболоченных западин и понижений

Таблица – Физические и физико-механические свойства озерно-ледниковых глинистых грунтов

Номер горной выработки	Природная влажность W , %	Плотность, г/см ³			Пористость n , %	Коэффициент пористости e	Степень влажности S_r	Граница текучести W_L , %	Граница раскатывания W_p , %	Число пластичности I_p	Число текучести I_L	Сцепление c , 10 ⁵ Па	Угол внутреннего трения φ , град.
		грунта	сухого грунта	частиц грунта									
P1	28,93	1,93	1,50	2,74	45,27	0,83	0,97	46,57	23,80	22,77	0,23	0,45	9
C1	26,8	2,02	1,59	2,74	41,83	0,72	1,00	47,4	24,90	22,5	0,09	0,54	15
C2	27,10	2,03	1,60	2,74	41,73	0,72	1,00	45,27	23,93	21,33	0,15	0,61	14
C2	23,73	2,07	1,67	2,74	39,07	0,64	1,00	46,57	25,03	21,53	-0,06	0,27	26
C3	25,93	2,07	1,64	2,74	40,03	0,67	1,00	46,90	24,07	22,83	0,08	0,50	21
C3	33,47	1,96	1,47	2,74	46,33	0,87	1,00	57,93	30,30	27,63	0,12	0,57	18

Одним из наиболее распространенных подходов к оценке критической ситуации на оползневых склонах являются расчеты устойчивости склонов. Для оценки устойчивых параметров рассматриваемых оползневых склонов карьера по данным лабораторных испытаний озерно-ледниковых глинистых грунтов (см. таблицу), слагающих оползневые участки и грунтовые массивы прилегающих территорий, нами произведена выборка и усреднение физико-механических свойств грунтов, в результате чего получены следующие значения: сцепление – $c_{cp} = 0,489 \cdot 10^5$ Па = 499 г/см² = 4,99 т/м²; угол

внутреннего трения – $\varphi_{cp} = 17^\circ$; плотность грунта (объемный вес) при естественной влажности – $\rho_{cp} = 2,01$ г/см³ = 2,01 т/м³.

С учетом нормативного коэффициента запаса устойчивости $\eta = 1,2$, принятого в соответствии с «Правилами обеспечения...» [13], определены расчетные характеристики прочности пород: $c_\eta = 4,16$ т/м²; $\varphi_\eta = 14^\circ$.

Выполненные расчеты по шести выбранным сечениям при проектном угле откосов нерабочих бортов карьера 40° без учета дополнительных каких-либо техногенных факторов (пригрузка

ГЕАЛОГИЯ

склонов, вибрация от транспорта и т.д.) показали, что вычисленные коэффициенты устойчивости исследуемых оползневых склонов ($K_y = 1,08 \div 1,16$) ниже нормативного коэффициента запаса устойчивости, т.е. все откосы нерабочих бортов восточной части карьера оказались неустойчивыми. Таким образом, принятые в настоящее время углы заложения откосов в глинистой грунтовой толще являются недостаточными для обеспечения длительной устойчивости бортов карьера при неблагоприятном сочетании факторов, определяющих прочность слагающих его грунтов.

ВЫВОДЫ

Результаты изучения оползневых процессов в северо-восточной и восточной частях карьера глины «Лукомль-1», принадлежащего ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль», позволяют сделать следующие выводы.

1. На исследуемых участках карьера имеют место проявления оползней двух форм плановых очертаний: фронтальные и циркообразные; по положению поверхности скольжения это типичные асеквентные оползни, по механизму смещения – оползни выдавливания (сжатия). Особенностью их механизма в стадию подготовки смещения является воздействие вертикального давления вышележающей толщи на деформируемый «слабый» слой.

2. Обследование оползневых участков позволило установить, что возникновение оползневых деформаций откосов карьера обусловлено комплексом естественных причин, поскольку при обработке данного участка каких-либо технологических нарушений, повлекших за собой обрушения, выявлено не было.

3. Основным фактором схода оползней в карьере, как показали результаты исследований, следует считать наличие в непосредственной близости от откосов северо-восточного и восточного бортов карьера ряда заболоченных понижений и западин, которые в условиях аномально выпавших в зимний период 2022/2023 г. атмосферных осадков, превышающих среднюю норму для данного района более чем в 1,5 раза, стали причиной повышенной концентрации талых вод в них, спорадического появления верховодки в перекрывающих продуктивную глинистую толщу отложениях и, как результат, значительного и глубокого промачивания и насыщения водой ниже залегающих грунтов, что привело к изменению их физико-механических свойств при увлажнении, повлекшему снижение прочности и устойчивости грунтовых массивов.

Другим существенным фактором возникновения оползней в откосах карьера следует считать

квазиоднородное строение грунтового массива, обусловленное частым присутствием в массиве глинистых грунтов тонких алевритовых прожилок, а также прослоев и линз тонкозернистого песка. Их наличие в совокупности с водонасыщением грунтового массива облегчает возникновение горизонтальных сдвигов в глинистой толще по контакту с прослойками, способствуя тем самым быстрому обрушению карьерных откосов.

4. С экономической точки зрения представляется нецелесообразным проведение восстановительных работ бортов карьера, а также каких-либо технических работ по защите склонов от поражения оползневыми процессами, т.к. эти явления в принципе будут провоцироваться наличием близко расположенных заболоченных понижений, спорадическим появлением верховодки в перекрывающих продуктивную залежь отложениях и квазиоднородным строением разрабатываемой глинистой толщи. Последнее подтверждается анализом буровых колонок скважин, пробуренных в 1977 и 1987 гг. и расположенных восточнее исследуемых оползневых участков, где на глубинах от 4 до 33 м отмечаются многочисленные прослойки и линзы тонкого серого песка. Кроме того, существующие сельскохозяйственные угодья, находящиеся за пределами земельного отвода карьера вне пользования заказчика, также могут рассматриваться как фактор провоцирования оползневых деформаций в откосах карьера. Дополнительная нагрузка, вызываемая работой сельхозтехники, выпасом скота и др., может способствовать возрастанию сдвиговых напряжений и давления поровых вод в глинистых грунтах, снижая их прочность на сдвиг.

По этой причине ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» было предложено обратиться с ходатайством в органы исполнительной власти о расширении границ земельного отвода, мотивируя это тем, что без устранения основного естественного фактора провоцирования оползневых процессов (наличие заболоченных понижений и западин вблизи приоткосных массивов, а также спорадическое появление верховодки в перекрывающих глинистую толщу отложениях) какие-либо горные работы в пределах северо-восточного и восточного бортов карьера будут сопряжены с большой долей вероятности возникновения и развития оползней.

В дальнейшем для обеспечения длительной устойчивости отработанных бортов карьера при неблагоприятном сочетании факторов, определяющих прочностные характеристики слагающих их грунтов, проектные углы заложения откосов в толще озерно-ледниковых глин рекомендовано снизить до $35-32^\circ$, что было подтверждено расчетными дан-

ными, согласно которым численные значения коэффициентов устойчивости исследуемых оползневых склонов выше значений нормативного коэффициента запаса устойчивости ($K_y \geq 1,2$).

В качестве профилактических мер по предупреждению дальнейшего возникновения и развития оползней на откосах карьера заводу керамзитового

гравия было предложено организовать и силами его маркшейдерской службы проводить мониторинговые наблюдения за состоянием склоновых поверхностей и активностью сопутствующих оползням экзогенных геологических процессов, происходящих в карьере и на прилегающих территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блакiтная** кнiга Беларусi. (Водныя аб'екты Беларусi) : энцыкл. / рэд. Н. А. Дзiсько [i iнш.]. – Мiнск : Бел. энцыкл. iмя П. Броўкi, 1994. – 415 с.
2. **Бурлуцкий, С. Б.** Оценка инженерно-геологических условий оползневых склонов / С. Б. Бурлуцкий, Е. С. Кудашов. – СПб. : Лема, 2018. – 35 с.
3. **Геамарфалагiчнае** раянiраванне. Масштаб 1:5750 000 / А. В. Мацвееў // Беларуская энцыклапедыя : у 18 тамах / рэдкал.: Г. П. Пашкоў [i iнш.]. – Мiнск : БелЭн, 2004. – Т. 18. – Кн. II. – С. 38.
4. **ГОСТ 12071-2014.** Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М. : Стандартинформ, 2015. – 12 с.
5. **ГОСТ 12248-2010.** Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М. : Стандартинформ, 2011. – 78 с.
6. **ГОСТ 5180-84.** Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 24 с.
7. **Климат** и средняя погода круглый год в г. Новолукомль [Электронный ресурс] // Weather Spark. – 2023. – Режим доступа: <https://ru.weatherspark.com>. – Дата доступа: 02.10.2023.
8. **Климатическая** характеристика зимы 2022–2023 г. [Электронный ресурс] // Белгидромет. – 2023. – Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-harakteristika-zimy-2022-2023-goda-6662-2023/>. – Дата доступа: 02.10.2023.
9. **Методические** указания по определению параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов. – М. : ИПКОН РАН, 2022. – 80 с.
10. **Методические** указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров / сост. Г. Л. Фисенко [и др.]. – Л., 1972. – 165 с.
11. **ОДМ 218.2.033–2013.** Методические рекомендации по выполнению инженерно-геологических изысканий на оползнеопасных склонах и откосах автомобильных дорог. – М. : НТЦ ГеоПроект, 2013. – 105 с.
12. **Оценка** устойчивости бортов карьеров (разрезов) и отвалов: метод. указания / сост. А. А. Григорьев, Е. В. Горбунова, А. Н. Девяткина. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2009. – 37 с.
13. **Правила** обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / сост. Г. Л. Фисенко [и др.]. – СПб., 1998. – 208 с.
14. **Рекомендации** по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития оползней / ПНИИИС. – М., 1969. – 95 с.
15. **Рекомендации** по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС. – М. : Стройиздат, 1984. – 80 с.
16. **Рекомендации** по прогнозу устойчивости обвально-оползневых склонов / ПНИИИС. – М. : Стройиздат, 1986. – 120 с.
17. **СП 14.13330.2018.** Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11–7–81 / Минстрой России. – М. : Стандартинформ, 2018. – 122 с.
18. **Федеральные** нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» (Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13.11.2020 № 439) [Электронный ресурс] // Экспертиза промышленной безопасности. – 2023. – Режим доступа: <https://tk-expert.ru/uploads/files/ntd/ntd-809-20210108-191105.pdf?ysclid=lpgqc522os138854138>. – Дата доступа: 02.10.2023.
19. **Чацвярцiчныя** адклады. М 1:1 250 000 / Б. М. Гурскi [i iнш.] // Нацыянальны атлас Беларусi / гал. рэдкал.: М. У. Мяснiковiч [i iнш.]. – Мiнск : Камiтэт па зямельных рэсурсах, геадэзii i картаграфii пры Сав. Мiн. Рэсп. Беларусь, 2002. – С. 42–43.

Аркул паступiў у рэдакцыю 27.11.2023

Рэцэнзент М. М. Прохараў

ДАСЛЕДАВАННЕ АПОЎЗНЕВЫХ ПРАЦЭСАЎ У АДКОСАХ БОРТАЎ КАР'ЕРА ГЛІН «ЛУКОМЛЬ-1» ІНЖЭНЕРНА-ГЕАЛАГІЧНЫМІ І ДЫСТАНЦЫЙНЫМІ МЕТАДАМІ

А. М. Галкін¹, А. Б. Тарбенка¹, І. А. Красоўская¹, А. І. Паўлоўскі²

¹Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П. М. Машэрава
Маскоўскі прасп., 33, 210038, Віцебск, Беларусь
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт
прасп. Незалежнасці, 65, 220013, Мінск, Беларусь
E-mail: aipavlovsky@mail.ru

Распрацоўка радовішча глін «Лукомль-1» нярэдка суправаджаецца лакальнымі апоўзнямі і іншымі абрушэннямі, нягледзячы на ​​прадугледжаныя праектам эксплуатацыі меры бяспекі. Значную шкоду нанеслі апоўзні, якія ўзніклі на адпрацаваных адкосах у паўночна-ўсходняй і ўсходняй частках кар'ера вясной 2023 г. Апоўзневым дэфармацыям падвергся ўчастак схілаў працягласцю звыш 700 м. У перамяшчэнне было ўцягнута больш за 5500 м³. Праведзеныя даследаванні, якія ўключалі аналіз маркізэідарскіх даных, геалагічных матэрыялаў; вывучэнне марфалогіі і будовы (структуры) апоўзняў; абвадненасці, фізічных і фізіка-механічных уласцівасцей парод, якія складаюць апоўзневыя схілы; спадарожных геалагічных працэсаў і з'яў вызначылі фактары ўзнікнення апоўзневых дэфармацый адкосаў у паўночна-ўсходняй і ўсходняй частках кар'ера глін. Асноўнымі сярод іх варта лічыць натуральныя фактары: аномальнае выпадзенне ў зімовы перыяд 2022/2023 г. атмасферных ападкаў, наяўнасць у непасрэднай блізкасці ад адкосаў кар'ера шэрага забалочаных паніжэнняў і западзін, і квазіаднастайны будынак масіва гліністых грунтоў, а таксама праслояў і лінзаў тонказярністага пяску. Даны рэкамендацыі на папярэджанні далейшага ўзнікнення і развіцця апоўзняў на адкосах кар'ера.

Ключавыя словы: азёрна-ледавіковыя гліны, кар'ер, прыродныя ўмовы, адкосы, апоўзні, устойліваць схілаў.

RESEARCH OF LANDSLIDES PROCESSES IN BORN SCOPE CLAY QUARRY "LUKOML-1" ENGINEERING-GEOLOGICAL AND BY REMOTE METHODS

A. Galkin¹, A. Torbenko¹, I. Krasovskaya¹, A. Pavlovsky²

¹Vitebsk State University named after P. M. Masherov
33 Moskovskiy Ave, 210038, Vitebsk, Belarus
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Belarusian National Technical University
65 Nezavisimosti Ave, 220013, Minsk, Belarus
E-mail: aipavlovsky@mail.ru

The development of the Lukoml-1 clay deposit is often accompanied by local landslides and other collapses, despite the safety measures provided for in the operation project. Significant damage was caused by landslides that occurred on mined slopes in the northeastern and eastern parts of the quarry in the spring of 2023. A section of slopes over 700 m in length was subject to landslide deformations. More than 55,000 m³ of soil were involved in the movement. Conducted research, which included analysis of survey data, geological materials; study of the morphology and structure of landslides; water content, physical and physical-mechanical properties of rocks composing landslide slopes; accompanying geological processes and phenomena determined the factors for the occurrence of landslide deformations of slopes in the northeastern and eastern parts of the clay quarry. The main ones among them should be considered natural factors: anomalous precipitation in the winter of 2022/2023, the presence in the immediate vicinity of the quarry slopes of a number of swampy depressions and depressions, and the quasi-homogeneous structure of the clayey soil massif, due to the frequent presence of thin silty soils in the clayey massif veins, as well as layers and lenses of fine-grained sand. Recommendations are given to prevent further occurrence and development of landslides on quarry slopes.

Key words: lacustrine-glacial clays, quarry, natural conditions, slopes, landslides, slope stability.