

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ТОЛЩ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ПОГРЕБЕННЫХ ОВРАГОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И ИХ ПОДВЕРЖЕННОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫМ ПРОЦЕССАМ

¹Королёв Э.А., ¹Королёв А.Э., ²Бариева Э.Р., ²Лившиц С.А.

¹ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет», Казань, e-mail: edik.korolev@kpfu.ru;

²ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань,
e-mail: enzab143@mail.ru

Грунтовые толщи погребенных оврагов неоплейстоценового возраста, осложняющие скальный массив уржумского яруса в восточной части Приволжской возвышенности, представляют собой потенциально опасные участки при вскрытии их дорожными выемками и котлованами. Это обусловлено особенностями их строения и наличием в основании эрозионных овражных долин водоносных пластов. Согласно полевым наблюдениям в составе грунтовых толщ погребенных оврагов выделяется снизу вверх по разрезу пять инженерно-геологических элементов: слабо измененные доломиты уржумского яруса в основании четвертичного комплекса отложений (ИГЭ-1), элювированные мергели, сильно дезинтегрированные и смятые в экзогенные складки (ИГЭ-2), овражный пролювий (ИГЭ-3), овражный делювий (ИГЭ-4) и почвенно-растительный слой (ИГЭ-5). В нижней части погребенных оврагов сформирован водоносный горизонт, ложем которого служат плотные доломиты уржумского яруса, водовмещающими являются делювиальные отложения, сложенные щебнисто-дресвяным материалом вперемешку с пылеватыми и глинистыми минеральными частичками. Из всех перечисленных грунтов на строительные свойства грунтовой толщи наибольшее влияние будут оказывать пролювиально-делювиальные отложения. Пролувиальные отложения в силу их высокой обводненности способствуют тиксотропному разжижению грунтов при вскрытии грунтовой толщи техногенными выемками. Делювиальные отложения, сложенные легкими лессовидными суглинками, вследствие высокой пористости, наличия нестойких к воздействию воды структурных связей, низкой прочности на сжатие и небольшой силы сцепления между минеральными частицами определяют низкую устойчивость грунтовой толщи в стенках техногенных обнажений. При нарушении естественных условий залегания грунтовой толщи дорожными выемками или котлованами в них активизируются оползневые процессы.

Ключевые слова: погребенные овраги, грунтовые толщи, строение, состав, свойства, активизация оврагов

FEATURES OF THE STRUCTURE OF GROUND SEQUENCE OF NEO-PLEISTOCENE BURIED GULLS IN THE EASTERN PART OF THE VOLGA UPLANDS AND THEIR SUSCEPTIVENESS TO LANDSLIDES PROCESSES

¹Korolev E.A., ¹Korolev A.E., ²Barieva E.R., ²Livshits S.A.

¹Kazan Federal University, Kazan, e-mail: edik.korolev@kpfu.ru;

²Kazan State Energy University, Kazan, e-mail: enzab143@mail.ru

The soil strata of buried ravines of Neopleistocene age, complicating the rock massif of the Urzhum stage in the eastern part of the Volga Upland, are potentially dangerous areas when they are exposed by road cuts and pits. This is due to the peculiarities of their structure and the presence of aquifers at the base of erosional ravine valleys. According to field observations, in the composition of the soil strata of buried ravines, 5 engineering geological elements are distinguished from bottom to top along the section: weakly altered dolomites of the Urzhum stage at the base of the Quaternary complex of sediments (IGE-1), eluted marls, strongly disintegrated and folded into exogenous folds (IGE-2), gully proluvium (IGE-3), gully colluvium (IGE-4), and soil-vegetation layer (IGE-5). In the lower part of the buried ravines, an aquifer has been formed, the bed of which is dense dolomites of the Urzhum stage; the water-bearing deposits are colluvial deposits composed of crushed stone-wood material mixed with silty and clayey mineral particles. Of all the listed soils, proluvial-deluvial deposits will have the greatest influence on the construction properties of the soil stratum. Proluvial deposits, due to their high water content, contribute to thixotropic liquefaction of soils when the soil layer is opened by technogenic excavations. Deluvial deposits composed of light loess-like loams, due to high porosity, the presence of structural bonds that are not resistant to water, low compressive strength and low adhesion force between mineral particles, determine the low stability of the soil layer in the walls of technogenic outcrops. When the natural conditions of the soil layer are disrupted by road cuts or pits, landslide processes are activated.

Keywords: buried ravines, soil strata, structure, composition, properties, activation of ravines

Дорожное строительство и кемпинговая застройка береговой линии Куйбышевского водохранилища, ведущиеся на правом берегу р. Волга, в последние годы сталки-

ваются с непредвиденными трудностями в виде активизации геодинамических процессов [1–3]. Анализ инженерно-геологических условий подобных потенциально

опасных участков показал, что большая часть из них пространственно приурочена либо к неогеновым врезам, либо к неоплеистоценовым погребенным оврагам. Причем часто древние овраги развиваются по ранее сформированным неогеновым врезам, осложняя и так непростые геологические условия территории. Несмотря на очевидное негативное влияние погребенных оврагов на строительство инженерных объектов и сооружений, до сих пор нет точных геологических данных о строении грунтовой толщи этих геоморфологических элементов, осложняющих грунтовой массив. В попытках устранения этого пробела было проведено детальное исследование разрезов неоплеистоценовых оврагов, вскрытых дорожными выемками в восточной части Приволжской возвышенности между р. Волга и Свияга.

Целью исследований являлось установление особенностей строения грунтовых толщ с выделением основных инженерно-геологических элементов, выявление преобладающих в них водоносных горизонтов, определение состава и физико-механических свойств грунтов, определяющих устойчивость толщ при вскрытии их техногенными выработками, а также степени подверженности оползневым процессам.

Материалы и методы исследования

Методика исследования заключалась в детальном описании участков обнажений в склонах дорожной выемки, где были зафиксированы отложения погребенных оврагов. Описание включало в себя характеристику грунтов в разрезе для определения генетического типа четвертичных отложений. При наличии подземных вод в погребенных оврагах описание дополнялось строением водоносных горизонтов. В ходе полевых работ осуществлялся отбор образцов грунтов и проб подземных вод для лабораторных исследований. Образцы грунтов были изучены в специализированной лаборатории Института геологии и нефтегазовых технологий в соответствии с действующими нормами и требованиями.

Результаты исследования и их обсуждение

Коротко ознакомимся с историей формирования неоплеистоценовых оврагов. Согласно последним представлениям, овраги восточной окраины Приволжской возвышенности образовались в эпоху последнего, Валдайского оледенения [4–6].

В это время холодный сухой климат, господствовавший в перигляциальной зоне на рассматриваемой территории, сменился более теплым и влажным [7, 8]. Избыточное увлажнение в период межстадиального потепления способствовало активизации водно-эрозионных процессов. Воды атмосферных осадков, стекающие с холмов эрозионно-денудационных останцев в восточной окраине Приволжской возвышенности, сливаясь в низинах создали условия для формирования протяженных оврагов. Базисом эрозии оврагов служила уже существовавшая к этому времени Палео-Волга [9, 10]. Направленный сток поверхностных и грунтовых вод с запада на восток, с водораздела в сторону Палео-Волжской речной долины, создал предпосылки для заложения параллельных друг другу протяженных овражных систем. По мере денудации холмистых возвышенностей скорость стока поверхностных и подземных вод замедлилась, и овраги вступили в стадию трансформации в балки. Дно оврагов постепенно заполнялось пролювиально-делювиальными четвертичными отложениями. К концу голоцена большая часть ранее образованных овражных форм были сnivelированы в рельефе, оставшись в виде корытообразных балок, переходящих в выположенные склоны холмов. В таком виде погребенные палеоовраги, выполненные пролювиально-делювиальными отложениями, просуществовали до нынешнего времени.

Проходки дорожных выемок, вскрывшие в крест протирания погребенные овраги, позволили в полной мере рассмотреть особенности строения овражно-эрозионных врез и аккумулярованных в них грунтовых толщ. Сами врезы морфологически представляют собой плоскостонные понижения древнего рельефа в коренных породах уржумского яруса. Ширина овражных долин может составлять от 10,0 до 35,0 м, при глубине эрозионных промоин от 5,0 до 14,0 м. Отмечается тенденция увеличения ширины и глубины погребенных оврагов в направлении от древних водоразделов в сторону речной долины Палео-Волги. Корытообразное дно овражных долин с боковых сторон переходит в относительно крутые борта, угол наклона которых варьирует в пределах 40–55°. Борта соединяются с более пологими склонами холмов, представляющими собой реликты эрозионно-денудационных поднятий, ранее являющихся водосборным бассейном неоплеистоценовых оврагов. Боковые борта палеооврагов и склоны окру-

жающих их холмов сложены горизонтально залегающими осадочными породами уржумского яруса (P_2ur), представленными светло-серыми доломитами, розово-красными доломитовыми мергелями, красно-бурыми аргиллитоподобными глинами, зеленовато-серыми мелкозернистыми и пылеватыми песчаниками. Характерной особенностью овражных долин является наличие в их основании неизменных, слабо эродированных слоев доломитов. Вероятно, доломиты, как плотные и наиболее устойчивые к водной эрозии породы, ранее слагали тальвеги оврагов, препятствуя дальнейшему их углублению. Коренные породы уржумского яруса в бортах овражных долин были частично изменены под воздействием гипергенных процессов. Это выражается как в повышенной трещиноватости доломитовых мергелей и аргиллитоподобных глин, вплоть до их перехода в щебеночные слои, так и в смятии слоев в складки. Последние образовались под действием гравитационного скольжения обводненных слоев осадочных пород вниз по бортам оврагов (экзогенная складчатость). Вероятно, смятые в складки и дезинтегрированные грунты представляют собой плохо сформированные элювиальные отложения четвертичного возраста (eQ_{IV-III}). Мощность элювиальных отложений не постоянна, может меняться от 0,5 до 1,2 м. Примечательно, что максимальные толщины отмечаются не в тальвеге, а на бортах овражных ложбин. Это указывает на существование в наиболее заглубленной части палеооврагов водных потоков с высокими скоростями течения.

Овражно-эрозионные долины заполнены светло-коричневыми, относительно однородными по сложению четвертичными отложениями, резко контрастирующими с красноцветами уржумского яруса. В разрезах терригенной толщи неоплейстоценовых погребенных оврагов отмечаются два генетических типа отложений – пролювиальные и делювиальные. Пролувиальные отложения (pQ_{III}) залегают в нижней части грунтовой толщи, образуя относительно небольшой по толщине слой – от 0,5 до 1,2 м. Он расположен непосредственно на слабо эродированных доломитах уржумского яруса, сглаженных и отшлифованных водными потоками. Контакт между четвертичными и коренными отложениями резкий, ровный. Пролувиальные отложения представлены светло-коричневыми суглинками, обога-

щенными щебнистыми и дресвяными обломками светло-серых доломитов и розово-красных мергелей. Снизу вверх по слою размеры обломков горных пород, а также их содержание постепенно уменьшаются с увеличением доли тонкодисперсного материала. Ближе к бортам овражных ложбин в пролювиальном слое отмечаются включения крупных угловатых доломитовых глыб, которые можно отнести к коллювию. Выше по разрезу залегают делювиальные суглинки (dQ_{III-IV}). Отложения характеризуются светло-коричневой окраской, тонкодисперсной структурой, однородной текстурой, слабым сцеплением между минеральными зернами. Периодически в толще суглинков встречаются кальцитовые трубчатые агрегаты, развивающиеся вдоль протяженных ходов корневой системы травянистой и кустарниковой растительности. В техногенных обнажениях дорожных выемок по толщам делювиальных суглинков весьма быстро развиваются вертикальные трещины, разбивающие грунты на столбчатые отдельности. По этому признаку делювиальные суглинки можно отнести к лессовидным. Мощности делювиальных слоев меняются от 5,5 до 10,5 м. Перекрываются светло-коричневые четвертичные отложения темно-серым почвенно-растительным слоем, обогащенным гумусом и с большим количеством переплетающихся корней травянистой растительности.

Грунтовые толщи практически всех неоплейстоценовых погребенных оврагов содержат один водоносный горизонт, приуроченный к нижней части четвертичных отложений. Водоносный пласт локализован в пределах пролювиального слоя. Водоупором служат плотные доломиты уржумского яруса. По условиям залегания воды грунтовые со свободной поверхностью, по происхождению – инфильтрационные, образованы за счет просачивания атмосферных осадков. Область питания подземных вод распространяется на холмы, окружающие погребенные палеоовраги, разгрузка осуществляется в бортах речных долин в виде нисходящих родников. Согласно лабораторным исследованиям, подземные воды по минерализации пресные, по гидрохимическому типу – гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, слабощелочные (рН 7,2).

Как следует из описания, в составе грунтовых толщ неоплейстоценовых погребенных оврагов выделяется до пяти инженерно-геологических элементов (табл. 1).

Таблица 1

Инженерно-геологические элементы грунтовой толщи погребенных оврагов

№ ИГЭ, возраст	Характеристика грунта	Толщины, м	
		min	Max
ИГЭ-1	Почвенно-растительный слой, темно-серый, обогащенный гумусом, с многочисленными корнями травянистой растительности	0,25	0,5
ИГЭ-2 dQ _{III-IV}	Суглинок делювиальный, светло-коричневый, легкий, лессовидный, со следами корней травянистой растительности, залеченными агрегатами кальцита	5,5	10,5
ИГЭ-3 pQ _{III}	Суглинок пролювиальный с включением дресвяных обломков доломитов и мергелей, светло-коричневый, увлажненный, водоносный	0,5	1,2
ИГЭ-4 eQ _{II-III}	Мергель красно-бурый, смятый в складки, раздробленный до состояния разборного щебня	0,5	1,2
ИГЭ-5 P _{2ur}	Доломиты светло-серые с прослойками зеленовато-серых мергелей, плотные, слабо трещиноватые	1,0	2,8

Таблица 2

Гранулометрический состав делювиальных суглинков

Суглинок	Содержание фракций различной размерности, мм			
	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	< 0,01
Верхняя часть разреза	0,52%	3,12%	26,62%	39,74%
Средняя часть разреза	1,29%	13,24%	42,18%	43,29%
Нижняя часть разреза	2,13%	16,51%	45,87%	35,49%

Из них лишь ИГЭ-2 и ИГЭ-3 представляют интерес как грунты, способные определять инженерно-геологические условия участка строительства. ИГЭ-5 и ИГЭ-4, относящиеся к скальным и крупнообломочным грунтам, соответственно в силу особенностей структурных связей и плотного естественного сложения щебнистого материала в слоях, являются относительно прочными и устойчивыми к внешнему воздействию породами. Поэтому при вскрытии доломитов и слабо элювированных мергелей дорожными выемками или котлованами активизации негативных геодинамических процессов ожидать не следует. Наоборот, эти грунты будут в какой-то мере оказывать стабилизационное воздействие на стенки выработок.

Учитывая вышесказанное, были проведены лабораторные исследования по определению физико-механических свойств делювиальных суглинков ИГЭ-2. Из делювиальных отложений ИГЭ-3 отобрать образцы монолитов не удалось вследствие их высокой обводненности и текучей консистенции. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ 25100-2020 [11].

С целью определения минерального состава грунтов был проведен рентгенографический анализ нескольких образцов. Расшифровка рентгеновских дифракционных спектров показала, что в составе делювиальных суглинков присутствуют аллотигенные зерна кварца (28–36%), альбита (18–34%) и микроклина (10–15%). Глинистые минералы составляют 18–23%. Из них отмечаются смешаннослойная минеральная фаза иллит-монтмориллонитового состава (6%), иллит (6–11%), хлорит (2–4%) и каолинит (2–3%). В небольшом количестве присутствует кальцит (5%). Гранулометрический анализ показал, что в составе делювиального суглинка преобладают минеральные зерна алевритовой фракции (0,01–0,1 мм) и тонкодисперсные частицы (< 0,01 мм), в совокупности составляющие более 60–80% породы (табл. 2). Обломки псаммитовой фракции (> 0,1 мм) находятся в весьма небольшом количестве. Причем в ее составе доминируют трубчатые агрегаты кальцита, выполняющие ходы корней травянистой растительности.

Лабораторные исследования физических свойств делювиальных суглинков показа-

ли, что их природная влажность находится в пределах 11,84–15,62%, плотность – 1,98–2,01 г/см³, пористость – 30,59–32,83%, число пластичности составляет 12,8, содержание органического вещества – 0,8–1,7%. Породы обладают нестойкими структурными связями, при повышенной влажности куски теряют монолитность, образцы, помещенные в прибор ПРГ-1Ф, в течение первых минут полностью превращались в рыхлую бесструктурную массу. Согласно полученным данным порода относится к суглинкам легким пылеватым. Поскольку устойчивость грунтовой толщи в откосах дорожных выемок и в стенках котлованов определяется механическими характеристиками пород, были проведены испытания образцов на приборе трехосного сжатия. Согласно полученным данным сила сцепления между минеральными частичками делювиальных суглинков составляет 16–19 кПа, угол внутреннего трения – 26–28°, прочность на сжатие – 0,19–1,16 МПа, удельный вес – 23 кН/м³. Результаты измерений были загружены в геотехническую программу GEO5 для расчетов устойчивости склонов. Моделирование показало, что грунтовые толщи делювиальных суглинков в случае нарушения условий их естественного залегания будут образовывать

неустойчивые склоны в бортах техногенных выемок.

Полевые исследования 2022–2023 гг. подтвердили правильность моделей. В стенках выемок, строящихся высокоскоростных автомобильных трасс, где вскрываются погребенные неоплейстоценовые овраги, повсеместно наблюдаются оползневые процессы. Все зафиксированные оползны относятся к асеквентным, согласно классификации Ф.П. Саваренского [12, с. 58], поскольку развиваются в однородных неслоистых грунтах (рисунок).

Ложе оползня и плоскость скольжения расположены на границе пролювиальных и делювиальных отложений. Это обусловлено наличием водоносного горизонта на уровне пролювиального шлейфа. Ширина охвата грунтового массива оползневыми процессами составляет от 10,0 до 35,0 м. В одних случаях формируется одно оползневое тело, в других – несколько тел, разделенных останцами более устойчивых пород. Впоследствии останцы тоже обрушаются, увеличивая объемы смещенного грунта. Оползание пород происходит в местах выходов в основание массива четвертичных суглинков родников, способствующих суффозионному разуплотнению грунтов.



Фото оползня в грунтовой толще делювиальных суглинков погребенного оврага

По объему вовлеченного в оползание грунта все оползни относятся к небольшим (10–200 м³). Формирование оползневых тел начинается с образования на поверхности грунтового массива трещин отрыва в виде полуциркуля, заложение которых происходит на удалении 5,0–8,0 м от бровки откоса дорожной выемки. По мере расширения трещин и увеличения их протяженности, отрывающийся блок грунтового массива наклоняется в сторону строящегося дорожного полотна пока не произойдет обрушение. При обрушении блок рассыпается в бесструктурную массу, террасоподобные останцы не образуются. В последующем выходы подземных вод в основании грунтового массива размывают бесструктурные суглинки и в виде шлейфа выносят тонкозернистый и глинистый материал в ближайшие понижения рельефа. При этом в местах отрыва оползневого блока в стенках массивов образуются оползневые цирки. Циркообразные стенки отрыва практически вертикальные, не имеют четко выраженных наклонов. После некоторого периода стабилизации в дальнейшем весь процесс повторяется до тех пор, пока не будут проведены мероприятия по выполаживанию или укреплению грунтового массива четвертичных суглинков погребенных палеооврагов.

Заключение

Грунтовые толщи погребенных оврагов неоплейстоценового возраста представляют собой потенциально опасные участки, осложняющие ведение земляных работ при строительстве инженерных сооружений. Наличие в составе грунтовой толщи обводненных пролювиальных отложений и делювиальных лессовидных суглинков со слабыми структурными связями обуславливают их неустойчивое положение в техногенных обнажениях. Согласно моделированию, подтвержденному временем, при вскрытии четвертичных отложений погребенных оврагов в склонах дорожных выемок или котлованов по ним достаточно быстро развиваются оползневые процессы. Оползни асеквентные, бесструктурные, по объему вовлеченного в оползание грунта относятся к небольшим. Учитывая геоморфологические особенности погребенного рельефа, наличие в составе грунтовой толщи слабых грунтов и высокую вероятность активизации в них оползневых де-

формаций, участкам погребенных оврагов можно присвоить III категорию сложности инженерно-геологических условий. При их проходке необходимо планировать и разрабатывать мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение земляных работ.

Список литературы

1. Золотарь А.И., Мельников Р.В. Обзор противокарстовых мероприятий, применяемых при проектировании линейного объекта М-12 «Москва – Казань» // Путьевой навигатор. 2022. № 53 (79). С. 36–45.
2. Королёв А.Э., Пиржанова Е.С., Королёв Э.А. Сложные оползни в стенках дорожной выемки на одном из участков федеральной автомобильной трассы по территории Татарстана // Геологи XXI века: Материалы XXIV Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (Саратов, 5 апреля 2024 г.). Саратов: Техно-Декор. 2024. С. 28–29. [Электронный ресурс]. URL: https://www.sgu.ru/sites/default/files/conf/files/2024-04/geologi_xxi_veka_2024_final.pdf (дата обращения: 24.04.2024).
3. Латыпов А.И., Гараева А.Н., Яббарова Е.Н., Усманов Р.М., Королёв А.Э. Природно-техногенные геодинамические процессы, активизированные при устройстве выемок грунта трассы М-12 на территории Приволжской возвышенности // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. 2023. С. 104–108.
4. Валиуллина Г.Ш., Илларионов А.Г. Плейстоценовое перигляциальное рельефообразование на территории Закамья Республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2010. Вып. 4. С. 126–136.
5. Украинцев В.Ю. Следы мощного речного стока в долинах рек бассейна Волги в позднеландшафтную эпоху // Геоморфология. 2022. Т. 53, № 1. С. 26–34.
6. Ямашкин А.А., Новикова Л.А., Ямашкин С.А., Яковлев Е.Ю., Уханова О.М. Пространственная модель ландшафтов западных склонов Приволжской возвышенности // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, № 3. С. 124–132.
7. Сенатор С.А., Мороз В.П. Географические условия и развитие растительного покрова Среднего Поволжья и прилегающих территорий в плейстоцене // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2. С. 62–74.
8. Писарева В.В., Судакова Н.Г., Зюганова И.С., Карпухина Н.В., Захаров А.Л. Дискуссионные проблемы стратиграфии среднего неоплейстоцена центрального региона Восточно-Европейской равнины // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2019. № 77. С. 49–85. DOI: 10.34756/GEOS.2019.4.77-4.
9. Линкина Л.И., Петрова Е.В. Климатические и ландшафтные условия Среднего Поволжья на рубеже миоцена и плиоцена // Ученые записки Казань университета. 2015. Т. 157. Кн. 1. С. 34–48.
10. Петрова Е.В. Перестройка речной сети и направленность смещения водоразделов в пределах территории Республики Татарстан в четвертичное время // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, № 2. С. 252–257.
11. ГОСТ 25100-2020. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2020. 43 с.
12. Ежов В.С., Хорошилов В.С. Строение и классификация оползней // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 6. С. 54–61. DOI: 10.33764/2618-981X-2022-6-54-61.