

УДК: 551.4.042 (476)

**Александр Илларионович Павловский<sup>1</sup>, Александр Николаевич Галкин<sup>2</sup>,  
Владимир Леонидович Моляренко<sup>3</sup>, Светлана Владимировна Андрушко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>канд. геогр. наук, доц., зав. каф. геологии и географии

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

<sup>2</sup>д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. каф. географии

Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

<sup>3</sup>ст. преподаватель каф. геологии и географии

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

<sup>4</sup>канд. геогр. наук, доц., доц. каф. геологии и географии

Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

**Alexander Pavlovsky<sup>1</sup>, Alexander Galkin<sup>2</sup>, Vladimir Molyarenko<sup>3</sup>, Svetlana Andrushko<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Geology and Geography

of the Francisk Skorina Gomel State University

<sup>2</sup>Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,

Professor of Department of Geography

of the Vitebsk State University named after P. M. Masherov

<sup>3</sup>Senior Lecturer of the Department of Geology and Geography

of the Francisk Skorina Gomel State University

<sup>4</sup>Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Geology and Geography

of the Francisk Skorina Gomel State University

e-mail: <sup>1</sup>aipavlovsky@mail.ru; <sup>2</sup>galkin-alexandr@yandex.ru; <sup>3</sup>molyarenko-vova@bk.ru;

<sup>4</sup>sandrushko@list.ru

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКЗОГЕННОЙ ДИНАМИКИ РЕЛЬЕФА БЕЛАРУСИ**

Проведена геоморфологическая оценка территории в инженерных целях, включающая общий геоморфологический анализ рельефа и его морфогенетическую характеристику. Рассмотрены основные экзогенные геоморфологические процессы, получившие широкое развитие на территории Беларуси. Выделены три типа территорий по геоморфологической устойчивости: устойчивые, условно устойчивые и неустойчивые и крупные речные долины.

**Ключевые слова:** экзогенная динамика рельефа, рельефообразующие процессы, инженерная деятельность человека, геоморфологическая устойчивость территории, типизация территории, типы территорий.

### ***Engineering and Geomorphological Assessment of the Exogenous Dynamics of the Relief of Belarus***

A geomorphological assessment of the territory for engineering purposes was carried out, including a general geomorphological analysis of the relief and its morphogenetic characteristics. The main exogenous geomorphological processes that have been widely developed on the territory of Belarus are considered. Three types of territories are distinguished according to geomorphological stability: stable, conditionally stable and unstable, and large river valleys.

**Key words:** exogenous dynamics of the relief, relief-forming processes, human engineering activities, geomorphological stability of the territory, typification of the territory, types of territories.

### **Введение**

Закономерности проявления процессов изменения рельефа земной поверхности изучаются рядом наук о Земле. Их синтез в настоящее время осуществляется в рамках динамической геоморфологии – научного направления геоморфологии, изучающей морфолитодинамику.

Анализ рельефа любой территории в инженерно-геоморфологических целях предполагает определение его геодинамической устойчивости. Ее характеристика должна включать в себя количественную оценку как эндогенных, так и экзогенных процессов, которые изменяют положение дневной поверхности или нарушают структуру пород в приповерхностной части литосферы.

Динамика рельефа – это направление и скорость изменения его морфологических и морфометрических характеристик (плановые очертания, положение форм в пространстве, абсолютные высоты, глубина и густота расчленения и т. д.). Такие изменения происходят в результате воздействия на рельеф различных геоморфологических процессов или их комплексов, которые способны механически перемещать целые массивы грунтов или оказывать химическое воздействие на горные породы. К таким процессам относятся эндогенные (тектонические движения, землетрясения и др.) и экзогенные (склоновые, флювиальные, эоловые, карстовые и др.). Это в основном рельефообразующие процессы, в результате деятельности которых рельеф изменяется с различной скоростью. Анализ и оценка его устойчивости является одним из видов инженерно-геоморфологической оценки территории [1].

Для равнинных территорий характерны относительно медленные изменения основных характеристик рельефа земной поверхности, что благоприятно для инженерного освоения, хотя и в их пределах есть такие участки, где рельеф поверхности меняется в течение короткого времени. Быстро протекающие процессы часто являются катастрофическими и не только вызывают трансформацию рельефа, но и наносят значительный экономический ущерб.

В инженерной геологии есть научное направление «инженерная геодинамика», изучающее современные геологические процессы, имеющие значение при оценке отдельных регионов в целях их инженерно-хозяйственного освоения, а также древние геологические процессы, оказавшие определенное влияние на геологическое строение территории [2]. Инженерная геодинамика позволяет решать вопросы строительства сооружений в различных геологических условиях, созданных разнообразными, главным образом экзогенными и некоторыми эндогенными геологическими процессами, происходящими на поверхности Земли и в верхних горизонтах земной коры, а также осуществлять прогноз возникновения геологических процессов, связанных с инженерной и хозяйственной деятельностью человека, которые получили название «инженерно-геологические процессы».

В то же время следует подчеркнуть, что это процессы не только инженерно-геологические, но и рельефообразующие. В силу этого они изучаются не только геологами, но и геоморфологами. Каждый из этих процессов и его проявление настолько своеобразны, что в большинстве случаев лишь только по рельефу удастся однозначно выделить тот или иной тип процесса. И чем сильнее его геодинамический эффект, тем лучше он выражен в рельефе. Поэтому геоморфологический анализ этих процессов может быть использован как метод в инженерно-геологических исследованиях и его можно рассматривать как метод инженерно-геоморфологической индикации [1].

### **Материалы и методы исследования**

Геоморфологическая оценка территории в инженерных целях должна включать в себя как общий геоморфологический анализ рельефа, так и его морфогеодинамическую характеристику. В геоморфологических исследованиях указанных явлений следует предварительно разделить эти процессы на эндогенные и экзогенные, рассмотреть их сначала отдельно и лишь затем определить их взаимозависимость и взаимное влияние. При изучении эндогенных явлений выполняется анализ степени их отражения

в рельефе, а при изучении экзогенных процессов рельефообразования осуществляется анализ действующего процесса.

Необходимо отметить, что для Беларуси, расположенной в пределах относительно стабильной платформы и имеющей равнинный рельеф, наиболее важное значение имеет экзогенная динамика рельефа, т. к. эндогенные процессы не столь активно влияют на инженерное освоение территории. В основу работы положены многолетние исследования современных геоморфологических процессов на территории Беларуси. Для изучения экзогенного морфогенеза широко применяются дистанционные, полевые, расчетные и стационарные методы исследований.

### **Результаты и их обсуждение**

Для оценки и прогноза инженерной деятельности человека особый интерес представляют экзогенные процессы, которые находят отражение в рельефе или проявляют свою интенсивность в зависимости от особенностей его строения и получили развитие на территории Беларуси. К таким процессам следует прежде всего отнести флювиальные, гравитационные, карстовые, суффозионные процессы, переработку берегов водоемов, просадочность лессовых пород, затопления (наводнения) и др.

**Флювиальные процессы.** По масштабности и интенсивности на территории Беларуси наиболее значительна роль флювиального рельефообразования. Все многообразие процессов, связанных с взаимодействием поверхностных текучих воды и подстилающих горных пород представляет собой в совокупности единый эрозионно-аккумулятивный цикл, включающий три главных звена:

1) плоскостные и ручейковые потоки, стекающие со склонов, производящие плоскостную эрозию и аккумуляцию склоновых шлейфов;

2) временные русловые потоки, осуществляющие линейную (овражную) эрозию и аккумуляцию, развитие которой представляет собой самовозбуждающийся процесс и сосредоточенную аккумуляцию в виде конусов выноса;

3) постоянные русловые потоки (реки), формирующие в ходе геологической истории речные долины, образующиеся в результате комплекса эрозионно-аккумулятивных трансформаций форм руслового рельефа.

Плоскостной смыв, являясь верхним звеном единого эрозионно-аккумулятивного цикла, проявляется примерно на 70 % территории республики. На склонах, имеющих крутизну до 2°, смыв рыхлого материала идет слабо, при крутизне склонов от 2 до 4–5° становится достаточно заметным и формируется первичная ручейковая сеть, на склонах крутизной от 4–5 до 7–8° и более эти процессы проявляются интенсивно и повсеместно. Развитие того или иного типа ручейковой сети определяет баланс продуктов размыва на различных участках склона, складывающийся из поступления и выноса. Так, в привершинных частях склонов, где нет поступления материала с лежащих выше участков, всегда расположена зона смыва. Интенсивность последнего возрастает с увеличением крутизны, а также на участках, расположенных ниже зон аккумуляции, обусловленной повышенной шероховатостью поверхности. По мере насыщения потока продуктами эрозии (при постоянном уклоне) на склоне возникают зоны транзита, где смыв отсутствует. У подножия склонов ручейки образуют многочисленные сливающиеся конусы выноса, на которых происходит потеря скорости водным потоком и аккумулируется значительная часть взвешенного материала. Таким образом формируются делювиальные шлейфы из материала, снесенного с вышерасположенных частей склона.

Интенсивность смыва с используемых в хозяйственном обороте земель изменяется от 0 до 7–10 мм, составляя в среднем 0,42 мм в год. Максимальные среднегодовые значения плоскостного смыва со склонов (до 10 мм) характерны для краевых леднико-

вых образований. Это прежде всего Гродненская, Волковысская, Новогрудская, Минская, Оршанская и Мозырская возвышенности [3].

При определенных условиях на различных стадиях эрозионно-аккумулятивного цикла возникают, формы линейной эрозии. В Беларуси земли, подверженные линейной эрозии, занимают площадь более 14 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет примерно 6,7 % всей территории. Это в основном районы длительного и интенсивного хозяйственного освоения. Общее количество форм линейной эрозии (овраги, балки) превышает 32 тыс., из них 13 % – активно развивающиеся овраги. Линейные скорости роста оврагов на территории республики составляют в среднем 0,3–3,5 м/год. Особенно широко линейная эрозия развита в пределах краевых ледниковых возвышенностей: Минской, Новогрудской, Мозырской, Оршанской, Ошмянской, Витебской, Гродненской, Слонимской, Волковысской и др. Значительные участки с развитием форм линейной эрозии встречаются на моренных и флювиогляциальных равнинах (Оршано-Могилевская, Чечерская и др.), а также в прибортовых частях речных долин Днепра, Западной Двины, Немана, Березины, Вихры и др. [3].

Эрозионные процессы, вызванные плоскостным и временным русловым стоком, формируются за счет дождевых и талых вод и питают постоянные русловые потоки – реки и ручьи, для которых характерно непрерывное взаимодействие между горными породами и текучей водой в виде речной (русловой) донной и боковой эрозии. Последнее звено – постоянные русловые потоки (реки) – формируют в ходе геологической истории речные долины. Режим движения воды в постоянных водотоках, как правило, является турбулентным, поскольку скорость течения в них превышает 0,5–2,5 м/с (для сравнения: скорости при ламинарном течении составляют порядка 0,1–0,7 м/с) [4].

Общая протяженность речной сети на территории Беларуси составляет порядка 90 тыс. км [5]. Реками осуществляется значительная эрозионно-аккумулятивная работа, заключающаяся в эрозии, транспорте и аккумуляции наносов. Прогнозная оценка интенсивности проявления процесса эрозии может быть осуществлена на основе использования близких по физической сущности показателей: числа Лохтина (Л) и коэффициента стабильности Н. И. Маккавеева (Кс).

Число Лохтина определяется по формуле

$$Л = d/I,$$

где  $d$  – крупность аллювия (донных отложений), мм;  $I$  – уклон русла, %.

Коэффициент стабильности (Кс) рассчитывается по формуле

$$Кс = d/bI,$$

где  $b$  – ширина русла реки, м.

С помощью этих показателей, характеризующих устойчивость русла по отношению к эрозионным процессам, можно оценить опасность проявления русловых процессов.

Анализ уклонов русла и гранулометрического состава аллювия позволил выделить 12 участков в русле Западной Двины для расчета числа Лохтина и коэффициента стабильности русла Н. И. Маккавеева (таблица 1), а также рассчитать интенсивность русловых деформаций (таблица 2).

Таблица 1. – Классификация русла по опасности размыва берегов [6]

Степень опасности	Опасность, баллы	Устойчивость		Интенсивность русловых деформаций	
		Л	Кс	С, м/год	С <sub>max</sub> , м/год
Умеренная (относительно устойчивые русла)	2	<3	<50	>1,8	>5
Слабая (устойчивые русла)	1	>3	>50	<1,8	<5

Каждое звено эрозионно-аккумулятивного цикла имеет большое значение для формирования инженерно-геологических условий территорий, поэтому они изучаются в отдельности, хотя переходы из одного вида в другой происходят постепенно, без резких границ и строгих классификационных признаков, определяя тем самым непрерывность процесса.

В то же время эти процессы наряду с непрерывностью имеют прерывистый характер. Их прерывность выражается в том, что они подразделяются на структурные уровни, относящиеся друг к другу как часть целого. Данные процессы качественно отличны друг от друга, поскольку охватывают разные по размеру площади, проявляют себя в рельефе за неодинаковые промежутки времени и приводят к образованию форм, различающихся по своим размерам, степени динамичности и возрасту.

Таблица 2. – Значения количественных параметров расчета устойчивости русла по выделенным участкам русла Западной Двины [6]

Характеристика	Участки											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Уклон, ‰	0,17	0,26	0,21	0,1	0,2	0,09	0,09	0,11	0,05	0,08	0,14	0,08
Крупность аллювия, мм	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5
Ширина русла, м	102	84	54	60	66	60	62	66	78	111	120	160
Число Лохтина	2,9	1,9	1,2	5,0	1,3	2,8	2,8	2,3	5,0	6,3	3,6	6,3
Коэффициент стабильности русла Н. И. Маккавеева	28,8	22,9	22,1	83,3	18,9	46,3	44,8	34,4	64,1	56,3	29,8	39,1
Скорость размыва берегов, м/год	0,68	1,10	1,81	0,44	3,06	1,40	1,44	1,84	2,29	1,86	3,30	1,99
Максимально возможные размывы берегов, м/год	1,95	3,17	5,22	1,27	9,52	4,36	4,49	5,73	4,41	3,58	6,36	3,83
Опасность, баллы	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1

**Гравитационные (склоновые) процессы.** Изучению склонов и склоновых процессов отводится особое место в инженерной геоморфологии, поскольку на Земле практически нет абсолютно горизонтальных поверхностей, а рельеф земной поверхности состоит из сочетания склонов различной крутизны и экспозиции. Склонами называют участки земной поверхности с углом наклона более 1–2°, на которых рыхлый материал образуется в результате процессов выветривания и смещается в виде грунтового потока. Причины и механизмы перемещения склонового чехла могут быть различными и зависят от склоновых процессов, которые, в свою очередь, регулируются тектоникой, геологическим строением, климатом, водным режимом местности и другими факторами.

Процессы, протекающие на склонах, ведут к удалению, перемещению, а при благоприятных условиях – к накоплению продуктов выветривания, т. е. к образованию как выработанных, так и аккумулятивных форм рельефа. Склоновая денудация – один из основных экзогенных факторов формирования рельефа и поставщик материала, из которого потом образуются различные генетические типы отложений.

На территории республики распространены следующие гравитационные процессы: крип, обвалы, осыпи, оползни. Крип проявляется практически повсеместно и представляет собой медленное перемещение грунтов на склонах под влиянием силы тяжести в процессе колебаний температуры и влажности. Скорости перемещения грунтовых толщ изменяются в пределах от 0 до 10–40 мм в год, реже – до 100 мм в год. Он затрагивает слой поверхностных отложений до глубины 0,5–0,7 м и морфологически проявляется в виде террасет, разрывов сплошности дернины.

Обвально-осыпные и оползневые процессы развиты не столь широко. Наиболее распространены различные типы оползней, развивающиеся в осадочных песчано-

глинистых породах, например, в моренных, в искусственных намывных или насыпных образованиях и др. (таблица 3). Они формируются на относительно высоких и крутых склонах, характеризуются большой глубиной захвата пород склона и приурочены к высоким и крутым склонам долин Днепра, Западной Двины, Немана и их крупных притоков, холмов и возвышенностей, глубоких оврагов (например, в Витебске, Гродно, Мозыре и др.), а также на отвалах вскрышных пород (карьер «Гралево») и насыпях. Объемы перемещаемых массивов грунта изменяются в пределах сотен м<sup>3</sup>, реже – первых тысяч м<sup>3</sup>.

Таблица 3. – Сопоставление существующих классификаций оползней по типам их механизма [7]

Авторы и год опубликования						
	Д. Варнес, 1958	М. К. Рзаева, 1969	Г. С. Золотарев и др., 1970	К. А. Гулакян, В. В. Кюнтцель, 1970	Д. Варнес, 1978	В. В. Кюнтцель, 1980
Типы оползней	Скольжения	Блочные, срезающие	Соскальзывания (консеквентные)	Скольжения	Скольжения	Скольжения
		Соскальзывания				
		Сползания				
	Течения	Выдавливания (одесского типа)	Выдавливания (детрузивные)	Выдавливания	Выдавливания	Выдавливания (сдвига)
		Суффозионные, выплывания	Выплывания Суффозионные	Выплывания	Выдавливания	Выплывания
		Просадочные	Потоки и сплывы	Проседания	Течения	Проседания
	Потоки (течения, оползания)	Течения		Течения		Течения (потоки)
	Сплывы, оплывины		Разжижения		Разжижения	Разжижения
Норвежского типа						

**Карстовый процесс.** Геоморфологи рассматривают карст как геоморфологическое явление и интересуются лишь поверхностными и подземными карстовыми формами, геологи понимают карст как полигенетический процесс, включающий растворение, размыв и обрушение пород, для инженер-геологов и гидрогеологов карст – единство процесса и явления [7].

Растворимые породы могут находиться у дневной поверхности, т. е. непосредственно обнажаться, или быть задернованными и покрытыми рыхлыми образованиями небольшой мощности, или залегать на той или иной глубине среди нерастворимых пород того же возраста, или быть перекрытыми более молодыми образованиями. В соответствии с этим в первом случае получает развитие поверхностный (открытый) карст, проявляющийся заметно, сильно, ярко в рельефе местности, во втором – закрытый карст с характерными для него образованиями в виде воронок, просасывания на поверхности пустот, каналов, пещер и других подземных форм в карстующихся породах. При инженерно-геоморфологической оценке территорий и условий строительства различных сооружений важно знать условия залегания закарстованных или карстующихся пород, т. е. тип карста.

В пределах Беларуси карстующиеся породы представлены в разрезе платформенного чехла известняками, доломитами, мергельно-меловыми толщами и галоидными породами. Распространен закрытый карст, который характерен для восточной

и юго-западной частей республики. Карст является одним из процессов, представляющих большую проблему при инженерно-геоморфологической оценке территорий и условий строительства сооружений. Поэтому при проектировании любого вида строительства в карстовых районах инженерно-геоморфологическое обоснование должно быть детальным и обстоятельным.

**Суффозионный процесс.** Под суффозией понимают процесс механического выноса тонкодисперсного материала из породы, который заполняет трещины и полости фильтрационным потоком просачивающихся поверхностных и подземных вод. Этому процессу подвержены преимущественно пылеватые и мелкозернистые пески, лессовые и (реже) пылевато-глинистые грунты. В глинистых породах, не имеющих крупных, сообщающихся друг с другом пор, внутренний размыв породы может происходить по трещинам, образующимся в результате процесса выветривания, или по ходам земляных животных и корневой системы древесной растительности.

На территории Беларуси суффозия – один из довольно распространенных экзогенных процессов, встречается примерно на 1/4 всей площади. Благоприятные условия для ее развития складываются в пределах равнин и низин (Лучосинской, Горецкой, Могилевской, Костюковичской, Чечерской, Стрешинской, Хойникской и др.), а также возвышенностей (Минской, Новогрудской, Оршанской, Копыльской, Мозырской и др.) с покровом лессовидных образований. Наиболее характерными последствиями ее проявления являются западины и блюдца, представляющие собой неглубокие, овальной или грушеобразной, чаще округлой формы понижения. Они встречаются практически во всех районах распространения лессовидных отложений, за исключением Мозырской возвышенности, где процессы суффозии формируют колодцы, связывающие их каналы и далее в результате провалов – овраги.

Основными движущими силами, вызывающими развитие суффозии, являются либо большие скорости движения фильтрационного потока, который вымывает частицы грунта, либо возникающее гидродинамическое давление в фильтрационном потоке. Все суффозионные проявления можно разделить на две категории – поверхностные (открытые) и подземные (закрытые). Первые представляют собой, как правило, отрицательные формы рельефа, а вторые – структурные элементы массива горных пород.

Поверхностные проявления четко выражены в рельефе и легко поддаются идентификации. В зависимости от строения земной поверхности они принимают различные формы и могут быть как аккумулятивными (конусы суффозионного выноса), так и деструктивными (поноры, провалы, оседания, овраги). Подземные проявления – это, по сути, структурные элементы массива горных пород. Они подразделяются на четыре типа в зависимости от морфологических особенностей и происхождения: полости (пещеры, тоннели), псевдопльвинные зоны, зоны разуплотнения и зоны дезинтеграции [8].

Суффозия часто возникает на склонах речных долин и по берегам водохранилищ. Она нарушает устойчивость склона и тем самым способствует возникновению оползней.

**Переработка берегов водоемов.** Берега водоемов постоянно изменяют свои очертания под воздействием волнений, приливов и отливов, вдольбереговых и направленных течений, а также вследствие физического и химического воздействия воды и живущих в ней организмов на горные породы, слагающие берега.

Процесс изменения очертаний берегов водоемов в результате их разрушения под воздействием главным образом волноприбойной деятельностью называется абразией (от лат. abrasio – соскабливание). Важнейшим условием, предопределяющим абразионное развитие берега, является крутизна исходного откоса прибрежной части дна водоема. Абразия создает на берегах абразионную террасу, или бенч, и абразионный уступ, или клиф. Образующиеся при этом в результате разрушения горных пород песок, гра-

вий, галька могут вовлекаться в процессы перемещения наносов и служить материалом для образования береговых аккумулятивных форм. Часть материала сносится волнами и течениями к подножию абразионного подводного склона, образуя здесь прислоненную аккумулятивную террасу.

На территории Беларуси абразию можно наблюдать на северо-восточных берегах озер Нарочь и Мястро, на берегах водохранилищ Вилейское, Вяча, Заславское, Лепельское, Осиповичское, Погост и др. По оценкам специалистов, из 120 эксплуатируемых водохранилищ в Беларуси с суммарной длиной береговой линии около 1 300 км, от 30 до 40 %, а в некоторых случаях до 70 % составляют берега абразионного типа. Ширина зоны переработки в зависимости от различных факторов колеблется в среднем за период эксплуатации от 5 до 20 м, достигая местами 33 м (вдхр. Лепельское). При этом объемы размываемого грунта могут составлять от 4 до 57 м<sup>3</sup> на метр погонной длины.

Среди основных факторов, определяющих динамику формирования берегов морей, озер и водохранилищ, выделяются геологические, геоморфологические, гидрологические, климатические и техногенные. Абразия может также быть парагенетически связана с целым комплексом других экзогенных процессов и явлений, которые активизируются вследствие развития абразии. К таковым относятся прежде всего склоновые процессы – оползни, обвалы, осыпи. Особенно интенсивно абразия развивается в регионах, испытывающих неотектонические движения.

**Просадочность лессовых пород.** Согласно В. Т. Трофимову, под просадочным процессом понимают реализацию в пространственно-временной системе просадочных свойств лессовых пород под действием их собственного веса или дополнительной нагрузки при увеличении их влажности до значений, превышающих влажность начальной просадочности, вследствие природных и антропогенных (техногенных) причин [9].

Глинистые породы, обладающие признаками и свойствами лессов, но отличающиеся от них по условиям образования (например, делювиальные, пролювиальные и др.), обычно относят к типу лессовидных. Однако установление генезиса лессовидных пород часто бывает затруднительным, и поэтому отделение их от лессов практически всегда носит условный характер. Это в основном и явилось причиной существования различных точек зрения на условия их образования в тех или иных районах. Свойства лессовых пород, как и любых других осадочных, изменяются также под воздействием различных эпигенетических процессов, процессов выветривания, под влиянием инженерных сооружений и т. д. При инженерно-геологической оценке свойств лессовых пород и прогнозе их поведения под воздействием на них инженерных сооружений важно знать, из какого генетического типа осадков они образовались и какова степень измененности их свойств.

Лессовые породы, как отмечено выше, водонеустойчивы, они легко и быстро размокают и размываются. Поэтому в районах их распространения широко развиты овражно-балочные явления, быстро разрушаются берега рек, озер и водохранилищ, многочисленны оползни, сплывы, солифлюкционные подвижки и другие явления. Наиболее важная их особенность состоит в склонности многих их разновидностей к просадкам. При замачивании без увеличения нагрузки они нередко дают значительную дополнительную осадку (просадку) провального характера. Просадки развиваются сравнительно быстро (как бы мгновенно) и неравномерны по величине на разных участках. Поэтому при строительстве сооружений всегда возникает опасность нарушения их устойчивости и сохранности вследствие изменения влажностного режима лессовых пород. Все это создает особые условия строительства сооружений на лессовых породах.

В Беларуси занимаемая ими площадь составляет до 15 % всей территории страны. Распространены преимущественно лессовидные образования, типичные лессы про-



слеживаются только на небольших участках. Они имеют покровное залегание, подстилаются разнообразными по строению и составу флювиогляциальными, озерно-ледниковыми, ледниковыми, аллювиальными, озерными и другими генетическими аккумуляциями четвертичной толщи, распространены довольно крупными массивами и относительно небольшими островами в пределах самых различных геоморфологических элементов. Широкое развитие они получили в пределах пологих возвышенностей, на склонах гряд, холмов, часто встречаются на плоских водоразделах крупных рек. Мощность лессовых пород обычно небольшая и изменяется от 0,5 м на повышенных участках до 5–6 м и более в нижних частях склонов, котловинах и ложбинах стока. Основные площади лессовых пород находятся к югу от краевых ледниковых образований поозерского возраста. Преобладающие участки расположены между реками Днепр и Березина, а также Днепр и Сож. Широкое распространение они получили в пределах Минской и Новогрудской возвышенностей, Копыльской гряды. Развиты лессовые породы также на северо-восточных склонах Мозырской гряды, в основном на склонах, обращенных к Припяти, участками попадают в Полесье.

**Затопление** – это покрытие территории водой, вызванное естественными (разливы рек, обильные осадки, морские приливы) или искусственными (строительство водохранилищ, прудов и др.) причинами. Затопление само по себе не является собственно геоморфологическим процессом, а относится к категории климатических или гидрологических. Однако в результате затопления могут возникать или активизироваться комплексы экзогенных процессов, изменяющие рельеф затопленных территорий.

В инженерно-геологическом отношении затопление вызывает существенное нарушение естественного влажностного режима массивов грунтов и гидрогеологических условий территории. Происходящее при этом водонасыщение пород ведет к ослаблению или разрушению их структурных связей (особенно неводостойких), что выражается в развитии процессов размывания и размокания пород. Одновременно с этим происходит растворение пород за счет выщелачивания водорастворимых соединений и т. п. Вслед за изменениями в структуре и составе затопляемых горных пород происходит активизация связанных с этим экзогенных процессов и явлений: интенсивно развивается склоновая и плоскостная эрозия, суффозия, вдоль водотоков активизируется линейная эрозия, развиваются различные склоновые процессы и явления: оползни, сплывы, обвалы и т. п.

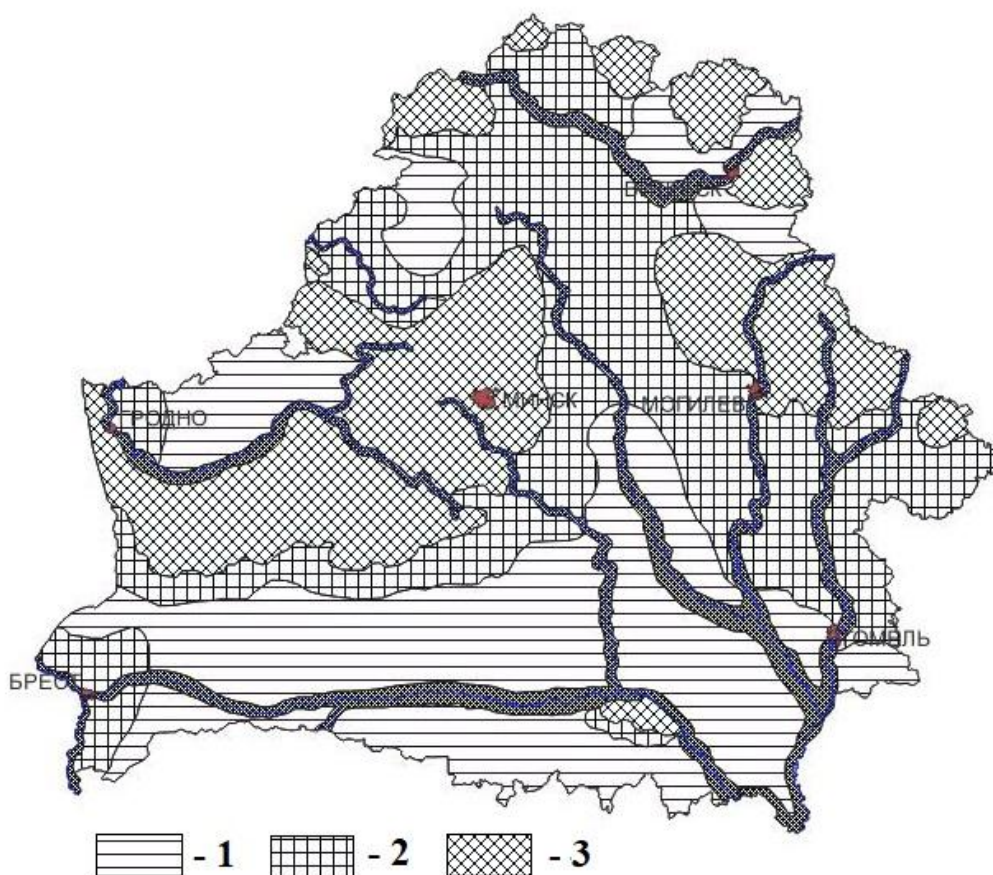
Геоморфологические условия речных бассейнов, гидрография (тип руслового процесса, режим стока и т. д.) в явном виде определяют возможность потенциального затопления речной долины и прилегающих территорий. Затоплению в первую очередь подвержены низкие участки речных долин – пойма, в редких случаях – надпойменные террасы. Крупные реки Беларуси характеризуются довольно высокими половодьями, высота которых сильно различается в зависимости от местных особенностей водосборов (рельеф, почвами, растительность, озерность, заболоченность и т. д.). Различия будут тем больше, чем меньше водосборы. В бассейнах с густой речной и овражно-балочной сетью стекание воды происходит быстрее, чем в условиях плоского рельефа. Поэтому в расчлененных водосборах половодье проходит более интенсивно, продолжительность его меньше, а максимальные расходы больше, чем в слабо расчлененных.

**Инженерно-геоморфологическая оценка территории Беларуси.** При инженерно-геоморфологической оценке геодинамической ситуации на той или иной территории следует исходить из представлений о том, что рельефообразующие процессы в природе действуют не независимо друг от друга, а образуют взаимосвязанные системы. Наличие прямых и обратных связей между этими явлениями служит основой того, что природа стремится к определенному уровню равновесия: когда действие одних факторов уравнивается действием других. Однако эта естественная уравни-

ность природных явлений не может быть синонимом инженерно-геоморфологической устойчивости территории, т. к. достигается на различных уровнях энергии рельефообразования. Геоморфологическая устойчивость территории – это свойство территории не изменять рельеф и рельефообразующие процессы в течение достаточно продолжительного периода времени. В силу этого геодинамически благоприятной в инженерном смысле окажется лишь та геоморфологическая обстановка, в которой равновесие рельефообразующих процессов достигнуто на низком уровне энергии рельефообразования.

Наличие в природе строго определенных взаимосвязей обуславливает комплексную оценку всей системы рельефообразования на каждой из исследуемых территорий. Этот комплексный подход обычно реализуется при геоморфологическом районировании или типизации исследуемой территории. Теоретической основой таких оценок должен служить системный подход. Геоморфологические системы характеризуются закономерным сочетанием элементов рельефа, связанных с ними рыхлых отложений и комплекса процессов, осуществляющих образование и преобразование рельефа. В качестве геоморфологических систем нами рассматривались речные бассейны, состоящие из множества элементарных морфосистем.

На основании общего геоморфологического анализа и оценки динамики рельефообразующих процессов разработана типизация территории Беларуси по геоморфологической устойчивости (рисунок). Выделены три типа территорий по геоморфологической устойчивости (устойчивые, условно устойчивые и неустойчивые) и отдельно крупные речные долины.



1 – устойчивые территории, 2 – условно устойчивые территории,  
3 – неустойчивые территории

**Рисунок.** – Типы территорий по геоморфологической устойчивости

Основные характеристики типов территорий представлены в таблице 4. *Устойчивые территории* практически не имеют ограничений в инженерном освоении и не требуют специальных мероприятий по инженерной защите объектов. Это в основном равнинные территории Полесья и Поозерья, частично – северо-запада республики.

*Условно устойчивые* территории предполагают комплекс мероприятий по инженерной защите объектов как в период строительства, так и в процессе эксплуатации. К ним относятся сильно сдунудированные краевые комплексы в пределах равнин Предполесья, а также значительные территории в пределах периферии краевых ледниковых возвышенностей Центральной Беларуси, Поозерья и востока республики.

Таблица 4. – Типизация территории Беларуси по геоморфологической устойчивости

Инженерно-геоморфологические характеристики	Типы территорий по геоморфологической устойчивости			
	Устойчивые (I)	Условно устойчивые (II)	Неустойчивые (III)	Речные долины
Вертикальное расчленение, м/км <sup>2</sup>	<5	5,0–15,0	15,0–40,0	5,0–40,0
Горизонтальное расчленение, км/км <sup>2</sup>	<0,4	0,4–0,7	>0,7	>0,7
Уклоны (градусы)	<2	2–4	>4	>4
Длина склонов, км	>0,6	0,6–0,4	<0,4	<0,4
Поверхностные отложения	Пески разнo-зернистые, суглинки безвалунные	Пески разнo-зернистые, супеси и суглинки лессовидные	Моренные супеси, супеси и суглинки лессовидные	Пески разнo-зернистые, супеси, суглинки, торф
Допустимые размывающие скорости покровных отложений, м/с	0,3–1,0	0,55–1,0	0,65–1,3	0,3–1,5
Интенсивность крипа, мм/год	<2,0	2,0–4,0	>4,0	2,0–4,0
Величина смыва, мм/год	<0,04	0,04–0,8	0,8–4,0	–
Плотность форм линейной эрозии, ед./10км <sup>2</sup>	<2	2–4	>4	>4
Активные овраги, % от общего числа	1	1–4	>4	>4
Гравитационные процессы, проявления*	–	+	++	++
Суффозионные процессы, плотность, шт./км <sup>2</sup>	–	10–20	>30	+
Карстовые процессы, проявления*	–	+	+	–
Просадочные процессы, проявления*	–	+	+	+
Затопление	–	–	–	++
Русловые процессы	–	–	–	++

Примечание – \* – + – слабое проявление; ++ – сильное проявление.

*Неустойчивые территории* приурочены к краевым ледниковым комплексам Центральной Беларуси и частично Поозерья, Оршано-Могилевской, Горецкой равнинам и Мозырской гряде. Эти территории обладают высоким энергетическим потенциалом рельефа, сложным сочетанием и высокой изменчивостью поверхностных отложений, широким проявлением целого ряда экзогенных рельефообразующих процессов. Здесь необходимо выполнение комплекса мероприятий по инженерной защите объектов как в период строительства, так и процессе эксплуатации.

*Речные долины* занимают особое место, т. к. характеризуются наиболее динамичным развитием, геоморфологической неустойчивостью рельефа, развитием комплекса экзогенных процессов и изменчивостью гидрологических условий. Их инженерное освоение связано со спецификой строительства водно-хозяйственных объектов.

### **Заключение**

Территория Беларуси расположена в пределах относительно стабильной платформы, имеет равнинный рельеф, однако экзогенная динамика рельефа активно проявляется и влияет на инженерное освоение территории. В связи с этим геоморфологическая оценка территории в инженерных целях должна включать в себя как общий геоморфологический анализ рельефа, так и его морфодинамическую характеристику.

При инженерно-геоморфологической оценке геодинамической ситуации на той или иной территории следует исходить из представлений о том, что рельефообразующие процессы в природе действуют не независимо друг от друга, а образуют взаимосвязанные системы процессов рельефообразования.

Геоморфологическая устойчивость территории – это свойство территории не изменять рельеф и рельефообразующие процессы в течение достаточно продолжительного периода времени. Для инженерного освоения благоприятные геоморфологические обстановки, в которой равновесие рельефообразующих процессов достигнуто на низком уровне энергии рельефообразования.

Комплексная оценка системы рельефообразования на каждой из исследуемых территорий реализуется при геоморфологическом районировании или типизации. Геоморфологической основой таких оценок должен служить системный подход, предполагающий, что геоморфологические системы представлены закономерным сочетанием элементов рельефа, связанных с ними рыхлых отложений и комплекса процессов, осуществляющих образование и преобразование рельефа. При общей оценке значительных территорий наиболее представительной системой является речной бассейн.

В пределах территории Беларуси выделено три типа обстановок, различающихся по своей геоморфологической устойчивости: устойчивые, условно устойчивые и неустойчивые, а также долины крупных рек. Особенности их освоения связаны с особенностями развития экзогенных рельефообразующих процессов и спецификой сооружения и эксплуатации инженерных сооружений.

При системном подходе очень важно изучать внешние связи систем, т. е. связи между пространственно сопряженными морфосистемами. Очень важен парагенетический анализ их отношений, т. к. начавшийся в одном из звеньев комплекса морфосистем процесс может быть причиной нежелательных и непредвиденных последствий в сложной, а иногда и достаточно отдаленной системе. Одним из важных аспектов изучения динамики морфосистем является выявление закономерностей во временной последовательности смен их состояний. Каждое из состояний характеризуется своим характером структуры системы и типом ее функционирования. Знание закономерности смены функционирования систем во времени и пространстве может служить основой геоморфологического прогнозирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симонов, Ю. Г. Инженерная геоморфология : учеб. пособие / Ю. Г. Симонов, В. И. Кружалин. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.
2. Сергеев, Е. М. Инженерная геология / Е. М. Сергеев. – М. : Изд-во МГУ, 1982. – 247 с.
3. Павловский, А. И. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Беларуси / А. И. Павловский. – Минск : Наука і тэхніка, 1994. – 102 с.
4. Иванов, И. П. Инженерная геодинамика / И. П. Иванов, Ю. Б. Тржцинский. – СПб. : Наука, 2001. – 416 с.
5. Современная динамика рельефа Белоруссии / А. В. Матвеев [и др.]. – Минск : Наука і тэхніка, 1991. – 102 с.
6. Павловский, А. И. Геолого-геоморфологические особенности формирования долины и устойчивость русла Западной Двины / А. И. Павловский, Т. А. Мележ, И. А. Алиева // Литосфера. – 2016. – № 1 (44). – С. 64–72.
7. Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России / В. Т. Трофимов [и др.] ; под ред. В. Т. Трофимова, Э. В. Калинина. – М. : КДУ, 2013. – 816 с.
8. Хоменко, В. П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов / В. П. Хоменко. – М. : ГЕОС, 2003. – 216 с.
9. Трофимов, В. Т. Инженерная геология массивов лессовых пород : учеб. пособие / В. Т. Трофимов. – М. : КДУ, 2008. – 398 с.

## REFERENCES

1. Simonov, Yu. G. Inzheniernaja geomorfologija : uchieb. posobije / Yu. G. Simonov, V. I. Kruzhalin. – M. : Izd-vo MGU, 1993. – 208 s.
2. Siergiejev, Ye. M. Inzheniernaja geologija / Ye. M. Siergiejev. – M. : Izd-vo MGU, 1982. – 247 s.
3. Pavlovskij, A. I. Zakonomiernosti projavlienija erozionnykh processov na tierritorii Bielarusi / A. I. Pavlovskij. – Minsk : Navuka i tekhnika, 1994. – 102 s.
4. Ivanov, I. P. Inzheniernaja gieodinamika / I. P. Ivanov, Yu. B. Trzhcinskij. – SPb. : Nauka, 2001. – 416 s.
5. Sovriemiennaja dinamika riel'jefa Bielorusii / A. V. Matviejev [i dr.]. – Minsk : Navuka i tekhnika, 1991. – 102 s.
6. Pavlovskij, A. I. Gieologo-gieomorfologichieskije osobiennosti formirovanija doliny i ustojchivost' rusla Zapadnoj Dviny / A. I. Pavlovskij, T. A. Mieliezh, A. I. Alijeva // Litosfiera. – 2016. – № 1 (44). – S. 64–72.
7. Inzheniernaja gieologija Rossii. T. 2. Inzheniernaja gieodinamika tierritorii Rossii / V. T. Trofimov [i dr.] ; pod ried. V. T. Trofimova, Ye. V. Kalinina. – M. : KDU, 2013. – 816 s.
8. Khomienko, V. P. Zakonomiernosti i prognoz suffozionnykh processov / V. P. Khomienko. – M. : GEOS, 2003. – 216 s.
9. Trofimov, V. T. Inzheniernaja gieologija massivov liessovykh porod : uchieb. posobije / V. T. Trofimov. – M. : KDU, 2008. – 398 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 12.09.2022