

## ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ С УЧЕТОМ ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Комаров К.А., Жохов В.Е.

*МУ ДО Центр дополнительного образования «Созвездие», 10 класс*

*Руководитель: Трындына Т.С., ЦДО «Созвездие», педагог дополнительного образования*

*Консультант: Власов А.А., геолог*

Под оползнем понимается более или менее медленное смещение грунтовых масс вниз по склону под действием силы тяжести. Обычно это явление связано с нарушением естественной структуры грунта. Оползни чаще всего образуются по берегам рек, озер, на склонах возвышенностей, сложенных рыхлыми породами и при наличии в их основании водоупорного слоя, обнажающегося в откосе. В жестких породах оползни возможны при наличии уклона склона или трещин, разбивающих породы. В глинистых породах оползни могут образовываться и при горизонтальном залегании, этому способствует суффозия [7].

В естественном состоянии грунты находятся в разной степени влажности. Увеличение или уменьшение влажности грунтов изменяет связность частиц грунта. По мере увеличения влажности глинистые грунты переходят три состояния: твердое, пластичное и текучее.

При намокании глинистые грунты ухудшают свои свойства медленно, по мере высыхания глинистый грунт уменьшается в объеме и трескается (дает усадку). Влажные глинистые грунты под действием статической нагрузки дают значительные осадки. Сильновлажные глинистые грунты под нагрузкой дают медленно затухающую во времени осадку (вековая осадка) [3].

Геологическая структура грунтов береговых склонов многослойна. Она представлена тремя горизонтами: первый состоит из почвенно-растительного покрова, глубина которого 30 сантиметров, далее идет покровный суглинок на глубину от 5 до 15 метров, ниже залегает московская морена (водно-ледниковое отложение) на глубине от 20 до 30 метров, далее идут подморенные глины, которые располагаются на уровне реки Волги.

**Актуальность** темы обусловлена тем, что за период исследования (2010 – 2019 годы) на отдельных склонах наблюдается активное развитие оползневых процессов и прослеживается их динамика. Левобережная часть города богата памятниками истории и культуры, по всему берегу стоят старинные церкви, которые являют-

ся шедеврами, гордостью национального зодчества и фресковой живописи. Поэтому важно сохранить исторический облик левобережной части города. На набережной части расположен жилой сектор, в основном состоящий из частных домов имеющих историческое значение.

**Цель:** изучение динамики оползневых процессов береговых склонов с учетом состава слагающих пород

### **Задачи:**

- выполнить исследования структуры почвенных горизонтов;
- выполнить расчёты статистических данных динамики оползней №4 и №5;
- изучить возможные меры для предупреждения оползневых процессов на береговых склонах.

В течение трех лет изучением факторов оползневых процессов береговых склонов занимался Илья Злобин. В своих исследованиях он подробно рассмотрел работу реки, климатические условия и антропогенное влияние, кратко коснулся структуры склонов.

В данном исследовании планируется более подробно остановиться на составе грунтов, слагающих береговые склоны, так как одной из причин оползневых процессов является особая геологическая структура грунтового комплекса, а так же выполнить мониторинг изменения площадей, объема и массы оползней.

### **Обзор литературных источников**

Оползни возникают тогда, когда природные процессы или люди нарушают устойчивость склона. Сила связности грунтов и горных пород оказывается в какой-то момент меньше, чем сила тяжести, вся масса приходит в движение. На возникновение оползней оказывают влияние многие факторы, особенно атмосферные осадки, землетрясения, повышение уровня воды в реке. Оползание происходит в рыхлых слабосцементированных породах вследствие того, что крутой и высокий склон по мере подрезания его рекой, водохранилищем, теряет свою устойчивость, и значительные горные массы крупными блоками начина-

ют смещаться вниз по склону. Оползневое движение всегда связано с наличием грунтовых вод. Их обилие – необходимое условие оползания, но достаточная влажность пород, обеспечивающая их пластичность, всегда необходима [5].

Земная поверхность состоит главным образом из склонов. Некоторые из них устойчивы, другие в силу различных условий становятся неустойчивыми. Неустойчивости склона способствует и повышение обводнённости грунтов, рыхлых отложений или горных пород. Вода заполняет поры и нарушает сцепление между частицами грунта. Межпластовые воды могут действовать подобно смазке и облегчать скольжение. Связность горных пород может быть нарушена при замерзании, и в процессах выветривания. Неустойчивость склонов может быть связана и с изменением вида насаждений либо уничтожением растительного покрова [2].

Евгения Петровна Емельянова в книге «Основные закономерности оползневых процессов» рассматривает основные закономерности оползневых процессов теоретические (аналитические) и эмпирические закономерности разнообразных аспектов оползневых процессов на природных склонах. Она предлагает новую классификацию оползней (по признаку геологических условий их образования). Так для основных выделенных типов и видов оползней рассмотрены: количественные характеристики условий их образования; влияние на их возникновение гидрогеологических условий, изменений прочности пород, подрезок и пригрузок, климата, растительности, неотектоники и сейсмических явлений; механизм, амплитуда и скорость смещения, стадии и фазы развития.

И что очень важно, дается принципиальная схема прогнозирования оползней и рекомендации по выбору противооползневых мероприятий [4].

### Основная часть

#### Методы исследования

Во время работы на береговых склонах был произведен отбор проб почвы в местах обрушений для определения: почвенных горизонтов; морфологического состава грунта (по С.А.Захарову). Для определения степени увлажненности почвы был применен косвенный органолептический метод [4].

Пробу, поступившую на анализ, тщательно перемешивают. Методом квартования из нее отбирают две аналитические пробы массой 15–50 г каждая (чем ниже влажность, тем больше масса пробы). Про-

бы взвешивают с погрешностью не более 0,1 г.

Массовое отношение влаги в почве  $W$  в процентах вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}$$

где  $W$  – масса влажной почвы со стаканчиком и крышкой, г;  $m$  – масса высушенной почвы со стаканчиком и крышкой, г;  $m_0$  – масса пустого стаканчика с крышкой, г.

За результат анализа принимают среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений. Вычисления проводят до второго десятичного знака с последующим округлением результата до первого десятичного знака.

Исследование морфологических особенностей сопровождается фотографированием, зарисовками [2].

#### Результаты и их анализ

На основе наблюдений за динамикой оползневых процессов и скорости смещения почвенной породы в данном случае можно отметить, что на момент 2010 года они относились к категории медленных, ползучих смещений рыхлых отложений. По анализу почвы можно заключить, что это легкий, мореный суглинок коричневого цвета (окраска почвы по С.А.Захарову) в котором присутствует мелкий гравий до 10%, не пылеватый, покровный, что говорит о возможности резкого снижения прочности и увеличению сжимаемости грунта при намокании, снижения прочностных характеристик при динамических воздействиях. Рыхлые грунты состоят в основном из скоплений отдельных зёрен и частиц. Связность этих скоплений зависит от внутреннего сцепления и трения между зёрнами. Установлено, что разрушение склона, сложенного из рыхлых грунтов, происходит при сдвиговых деформациях (фото 1, 2).



Фото 1. Рыхлые грунты склонов



*Фото 2. Рыхлые грунты склонов*



*Фото 6. Склон 2. Оползень 3*

Практическая работа на оползневых склонах (30 апреля 2018 года).

Исследования проводились на трех склонах, условно обозначенных 1, 2, 4, на которых прослеживаются активные оползневые процессы (фото 3–10).



*Фото 3. Склон 1. Оползень 1*



*Фото 7. Склон 4. Оползень 4*



*Фото 4. Склон 1. Оползень 2*



*Фото 8. Склон 4. Оползень 4*



*Фото 5. Склон 2. Оползень 3*



*Фото 9. Оползень 5*



Фото 10. Стенка срыва оползня

На данных склонах наблюдаем 5 оползней. В ходе проведения практической работы выполнили замеры оползней, произвели отбор проб грунта (общее количество 10), для определения состава и увлажненности.

ренного берега (3 метра), оползень 2 наблюдается рост вдоль склона (9,5 метра), а также происходит отрыв почвенно-растительного горизонта, движение в высоту сдерживают вязы. По нашей оценке он является затухающим. Оползень 3 рост наблюдается вдоль склона (68 метров), наблюдаем поваленные деревья, образование новых обрушений, обвально-осыпных. В подошвенной части склона образовались трещины длиной 4 и 5,5 метров, глубина которых составляет 0,32 метра.

Исходя из того, что на склоне 4 наблюдается активное увеличение объема сползающего грунта, были произведены расчёты процентного увеличения объёмов оползней, а так же произведён подсчёт массы грунтов исходя из средней плотности почвы (2,65 т/м<sup>3</sup>) за период 2010–2018 гг. Формула, по которой определялся объём оползня:

Таблица 1

Показатели динамики оползневых процессов склонов 1, 2 и 4

№ оползня	Вид оползня	Динамика			Общая S, м <sup>2</sup>
		2010	2014	2018	
1	фронтальный	h 1,2, ширина – 12 м	h 2, ширина – 12,5 м	h2, ширина – 15 м	0,8/3 м, S 30 м <sup>2</sup>
2	обвально-осыпной	h 27, ширина – 10,5 м	h 27, ширина – 14,5 м	h 27, ширина – 20 м	9,5 м, S 540 м <sup>2</sup>
3	оплывина	h 50, ширина – 25 м	h 50, ширина – 33 м	h 47, ширина – 93 м	68 м, S 775,5 м <sup>2</sup>
4	оползневый цирк	h 11, ширина – 17 м	h 11,5 ширина – 18 м	h 13,6, ширина – 23 м	2/6 м, S 312,8 м <sup>2</sup>
5	оползневый цирк	h 15, ширина – 20 м	h 17, ширина – 26 м	h 22, ширина – 32 м	7/7 м, S 704 м <sup>2</sup>

По результатам исследования динамики оползневых процессов можно отметить, что оползень №1 затухающий, квадратичной формы, за исследуемый период изменения можно видеть рост вдоль склона бровки ко-

$\frac{1}{4}Pb_2a$ , где  $a$  – высота оползневого языка,  $b$  – ширина оползня. Здесь же можно отметить, что прослеживается тенденция к увеличению ширины оползня (оползень 5). Результаты были отражены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели объёма грунта оползней 4 и 5

Год	Оползень 4			Оползень 5		
	2010	2018	2019	2013	2018	2019
Ширина, м	11 м	17,6 м	22,5 м	17 м	25 м	29 м
Высота, м	3,4 м	6,5 м	7,8 м	8 м	12 м	16 м
Толщина, м	0,25 м	0,25 м	0,25 м	0,45 м	0,45 м	0,45 м
Объём, м <sup>3</sup>	0,09 м <sup>3</sup>	0,395 м <sup>3</sup>	0,745 м <sup>3</sup>	0,454 м <sup>3</sup>	1,48 м <sup>3</sup>	2,65 м <sup>3</sup>
Масса, т	0,21 т	1,04 т	1,97 т	1,2 т	3,9 т	6,2 т
Увеличение, %	601 %			582 %		

Оползень 4. По полученным данным можно отметить, что наблюдается динамика оползневого процесса:

- объём грунта на 2010 год составлял  $0,09 \text{ м}^3$ ;

- весна 2019 года: составляет  $0,745^3$  (увеличение составило 601 %).

Это свидетельствует об активной динамике увеличения площади оползня, в основном, в виде отдельных секторов почвенно-растительных горизонтов (фото 11).

Наблюдается активное увеличение оползня в ширину, при увеличении в высоту в 2 раза. В ходе исследования было отмечено значительное увлажнение грунта стенки срыва, ранее не выявленное. По свидетельству местной жительницы, на территории Романовского кремля в усадьбе А.К. Зацепиной (XIX век), ул. Крестовоздвиженская, 45 находится родник, который в последнее время не используется.

Исходя из того, что мы наблюдаем выход грунтовых вод на береговых склонах,



Фото 11. Оползень 4

Оползень 5. На момент 2013 года (год образования, 2012), объём грунта составлял  $0,454 \text{ м}^3$ ;

- весна 2019 года, составляет  $2,65 \text{ м}^3$  (увеличение составило 582 %).

были отобраны 5 проб в 2 повторностях для определения состава и влажности грунтов. Целенаправленно отбирались образцы слагающих пород (табл. 2).

Таблица 2

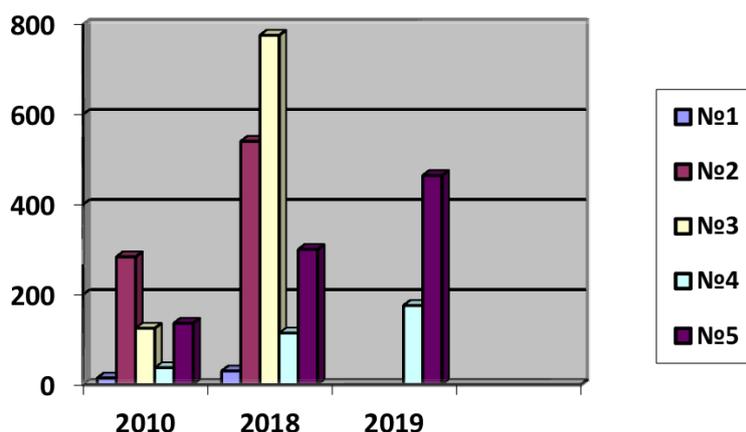
Показатели состава и влажности образцов грунтов оползневых склонов

№ пробы	Состав грунта	Влажность		% влаги в пробах
		Вес начальный г	Вес сухой пробы г	
1–2	Суглинок, светло-коричневый, лёгкий, моренный, тугопластичный с включениями гравия и гальки до 10 %	298 г	272	8,72 %
3–4	Суглинок, красновато-коричневый, моренный, мягкопластичный, лёгкий, с включением гравия до 10 %	358 г	318	11,17 %
5–6	Суглинок, красновато-коричневый, моренный, мягкопластичный, лёгкий, с включением гравия до 10 %	320 г	270	15,62 %
7–8	Суглинок, красновато-коричневый, лёгкий, песчанистый, моренный, мягкопластичный, с включениями гравия и гальки более 10 %	246 г	220	10,56 %
9–10	Суглинок, коричневый, моренный, тугопластичный, лёгкий, с включениями гравия до 10 %	306 г	262	14,37 %

Образцы проб были взяты с поверхности скольжения оползня, после изучения отобранных образцов было выяснено, что склоны имеют различное геологическое строение. Склоны, на которых суглинки содержат тонкие песчаные прослойки, проводящие инфильтрационные воды в сторону зон разгрузки, имеют подпитку влагой, что создаёт дополнительную опасность для образования оползней. Учитывая динамику оползневых процессов, на диаграмме отражено увеличение площадей оползней, в зависимости от увлажнения грунтов.

Исследуемые склоны подвержены подмыву в подошвенной части течением реки. Во время подъема уровня воды в Волге урез приходится на подошвенную часть береговых склонов. Береговые склоны подвержены оползневым процессам и выветриванию, а также плоскостному смыву в период обильных дождей.

Русло реки в районе города имеет корытообразную форму, фарватер проходит по левому берегу и все силы прибрежных течений приходятся на левобережную сторону.



*Площади оползней береговых склонов (в метрах)*

За период исследования, с 2010 по 2019 (9 лет), было выявлено значительное увеличение площади оползней:

- склон №1 (В. Набережная, 35);
- оползень №2 за 7 лет наблюдения (2012 год) площадь увеличилась в два раза (с 283,5 кв. м до 540 кв. м)
- склон №2 (Кустодиевский бульвар);
- оползень №3, со 100 кв. м, до 780 кв. м;
- склон №4 (район Крестовоздвиженского собора);
- оползень №4, за 9 лет наблюдения площадь увеличилась с 37,4 кв. м до 175,5 кв. м;
- оползень №5 (за 6 лет), со 136 кв. метров до 464 кв. м.

Опасения вызывает оползень 5 (район Крестовоздвиженского собора), динамика которого продолжает увеличиваться. За 6 лет наблюдения площадь оползня увеличилась в 3,5 раза, а за год увеличение составило более чем в 1,5 раза.

Рассматривая причины оползневых процессов береговых склонов можно отметить следующее:

Природными факторами, непосредственно влияющими на образование оползней, являются переувлажнение склонов интенсивными атмосферными осадками, грунтовыми водами, водная эрозия, абразия. Одним из существенных факторов, влияющих при определённых условиях на динамику оползней, являются грунтовые воды. Они имеют свободную водную поверхность, которая поднимается или опускается в зависимости от выпавших осадков. Изучение возникновения и развития оползневых процессов показывают, что увлажнение грунтов за счет атмосферных осадков является одним из оползнеобразующих факторов.

Взаимодействие указанных факторов, как следствие, формирует такие условия среды, которые в совокупности определяют закономерности изменения напряженного состояния склонов и прочностных свойств слагающих их пород, поскольку каждое их воздействие влияет на устойчивость либо через прочность, обусловленную характером увлажнения грунтов, либо через вели-

чину или распределение действующих напряжений в грунтовом массиве.

Сложный комплекс мероприятий по борьбе с оползнями подразделяется на пассивные и активные меры.

Пассивные меры – это предупредительные меры. К ним относятся:

1. Запрещение подрезки склонов
2. Запрещение подсыпок и строительства в оползневой зоне
3. Ограничение скорости движения автотранспорта вблизи оползневой зоны
4. Запрещение сброса на склон поверхностных вод
5. Запрещение уничтожения растительности на склоне.

Активные меры заключаются в инженерных способах борьбы.

Вода обладает разрушительной силой – под ее воздействием берега могут разрушаться, а береговая линия менять свои очертания. Из целого ряда способов, которые используются для укрепления берегов рек и водоемов, самыми эффективными на сегодняшний день признаны два. Первый основан на сооружении вдоль берега подпорных стенок из габионов, а второй – на использовании георешетки. Так же может быть применен прием задернения – агротехнический прием, предусматривающий культивирование однолетних или многолетних трав, способствующий улучшению структурно-агрегатного состава, водно-физических свойств почвы и предотвращающий процессы эрозии.

#### Заключение

В процессе работы рассматривалась динамика движения склонов после потери ими устойчивости, которая зависит от состава слагающих пород.

Были выполнены исследования структуры почвенных горизонтов, согласно классификации. После изучения отобранных образцов было выяснено, что склоны имеют различное геологическое строение, а именно: состав грунтов склонов 1 и 4 по показателям состава и влажности образцов относятся к коричневым тугопластичным суглинкам. По составу грунтов склоны №2 и №3 относятся к моренным красно-коричневым лёгким суглинкам. Почвенные грунты, слагающие береговые склоны относятся к глинистым, их основу составляют суглинки, которые относятся к рыхлым (мягким) породам.

Для того чтобы оценить тенденцию к увеличению оползневых процессов, на основе полученных данных (ширина, высота), был произведён расчёт следующих показателей: площадь оползней, объём, масса грунтов и процентное увеличение,

индивидуально для каждого склона. Расчёт для оползней 1, 3 и 4 производился с 2010 по 2019 годы, для 2, 5 с 2012 по 2019. При помощи данных показателей можно заметить, что наиболее тревожными являются объекты 4 и 5 (склон 4). Оползень 4: за 9 лет наблюдения площадь увеличилась с 37,4 кв. м до 175,5 кв. м, объём грунта на 2010 год составлял 0,09 м<sup>3</sup>; весна 2019 года: составляет 0,745 м<sup>3</sup> (увеличение составило 601%). Это свидетельствует об активной динамике увеличения площади оползня, в основном, в виде отдельных секторов почвенно-растительных горизонтов. Оползень №5: за 6 лет (с 2013) площадь увеличилась со 136 кв. метров до 464 кв. м. На момент 2013 года (год образования, 2012), объём грунта составлял 0,454 м<sup>3</sup>; весна 2019 года, составляет 2,65 м<sup>3</sup> (увеличение составило 582%). Наблюдается активное увеличение оползня в ширину, при увеличении в высоту в 2 раза.

В процессе исследования были рассмотрены причины оползневых процессов береговых склонов и комплекс мероприятий по борьбе с оползнями, который подразделяется на пассивные и активные меры.

За период проведения исследований были изучены 4 береговых склона в левобережной части города Тутаева, на которых наблюдаются оползневые процессы:

- склон №1, ул. Волжская Набережная д. 35 (оползни 1, 2);
- склон №2, Кустодиевский бульвар, ул. Волжская Набережная (оползень 3);
- склон №4 район Крестовоздвиженского собора, ул. Волжская Набережная (оползни 4, 5).

Работа по данному направлению будет продолжена. Планируется составить прогноз устойчивости склонов, на основе сравнительно-геологических методов исследования, а также выяснить зависимость сопротивления грунтов от нормальной нагрузки, выполнить моделирование предельного напряженного состояния пород.

#### Список литературы

1. Безрук В.М. Геология и грунтоведение. – М.: Недра, 1977. – 256 с.
2. Воскресенский С.С. Динамическая геоморфология формирования склонов. – М.: МГУ, 1991. – 253 с.
3. Дранников А.М., Стрельцес Г.В., Купраш Р.П. Оползни на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1972. – 169 с.
4. Емельянова Е.П. Закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 142 с.
5. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология. – М.: Высшая школа, 1979. – 287 с.
6. Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство. СПб.: «Крисмас+», 2000. – 164 с.
7. Симонов Г.Ю., Большов С.И. Методы геоморфологических исследований.
8. Методология. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 191 с.
9. Трескинский С.А. Склоны и откосы в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1984. – 157 с.