

УДК 504.064.2.001.18:519.233.5 (571.122)

<http://doi.org/10.36906/KSP-2020/07>*Соколов С.Н.**Нижневартровский государственный университет**г. Нижневартовск, Россия*

## ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ НА УСТЬ-ВАХСКОМ СТАЦИОНАРЕ

**Аннотация.** Рассматривается прогнозная оценка динамики береговой линии Нижневартовского района. Для анализа зависимости площади затопления от уровня воды в реке Обь за 1994–2019 гг. использовано уравнение регрессии, с помощью которого был сделан прогноз площади затопления при определенном значении уровня воды в реке.

**Ключевые слова:** прогнозная оценка; размыв береговой линии; уравнение регрессии; денежная оценка потери земель; река Обь; Усть-Вахский стационар.

Растущий интерес к прогнозной оценке береговой динамики обусловлен интенсивным освоением прибрежных земель, повышением их ценности, стремлением вовлечь в хозяйственное использование неудобные для этого территории из-за увеличивающегося дефицита свободных земель, усилением внимания к рациональному использованию и охране окружающей среды. Опасность эрозионной деятельности заключается в том, что основные населенные пункты Нижневартовского района располагаются в береговых зонах, которые подвержены влиянию эрозии. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению площади территории, и происходит уничтожение как жилых строений, так и сельскохозяйственных угодий. Эти изменения происходят на глазах человеческого поколения, и к таким быстрым изменениям естественные экосистемы и их компоненты не успевают адаптироваться [8]. Поэтому в настоящее время наблюдение за изменениями береговой линии является актуальной проблемой.

Размыв берегов рек – сложное и многофакторное явление, которое зависит не только от гидрологического режима реки, литологии берегов, наличия прирусловых отмелей, но и от формы и параметров излучин, взаимодействия руслового и пойменного потоков во время половодья [10]. Несмотря на разнообразие береговых процессов, облик берега и характер его изменения определяются обычно активным действием одного-двух из них, причем на различных стадиях и фазах формирования берега ведущими могут быть разные береговые процессы [11].

Река Обь является важнейшим природно-хозяйственным объектом Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Она является основной транспортной артерией, используется для водоснабжения, рыболовства и т. д. На ее берегах расположены крупные города и большая часть населенных пунктов округа, через нее проложены различные коммуникации, имеющие в том числе и федеральное значение: мосты, трубопроводы, линии электропередач

[7]. Русло реки Обь в пределах округа формируется в условиях свободного развития русловых деформаций [1; 6].

Эрозионная активность реки Обь в пределах Нижневартовского района исследуется с 1974 г., когда Тюменской комплексной геолого-разведочной экспедицией был заложен первый стационар в пределах города Нижневартовска. В 1980 г. из-за активной хозяйственной деятельности он был перенесен в район устья реки Вах, здесь до 1994 г. получали данные по отступанию берега. В 2001 г. наблюдения на этом стационаре были восстановлены Нижневартовским государственным университетом [12].

Стационар Усть-Вахский находится на широтном участке среднего течения реки Обь [2], на правом берегу реки (рис. 1).

Особенность рассмотренного участка заключается в интенсивном проявлении эрозионного размыва берегового склона с сопутствующим значением обвальными-осыпными явлениями, торфообразованием, дефляцией песчаных пляжей и оврагообразованием. Экспозиция склона, легко размываемый состав пород, а также сильное гидродинамическое давления на берег слияния рек Вах и Обь позволяют квалифицировать данный участок, как наиболее подверженный сильному размыву [4]. Во время весенних половодий уровень воды в реке поднимается до критических отметок и возможен подмыв грунта [13].



Рис. 1. Стационар Усть-Вахский

Для прогноза был выбран участок устья реки Вах. Все данные были получены Научно-исследовательской лабораторией геоэкологических исследований [3], двумя методами – путем дешифрирования космоснимков и методом с применением спутникового зондирования (рис. 2).

Для анализа зависимости площади затопления  $y$  (тыс.  $m^2$ ) от уровня воды в реке Обь  $x$  (м) отобрана выборка объемом  $n = 7$  лет, результаты которой приведены в таблице 1. За 1994–2001 гг. и 2001–2014 гг. в качестве переменных взяты их средние значения за эти годы.

Для оценки параметров используется метод наименьших квадратов (МНК), согласно которому неизвестные параметры уравнения регрессии выбираются таким образом, чтобы

сумма квадратов отклонений фактических значений отклика от прогнозных (полученных по уравнению регрессии) была минимальна. Для выполнения анализа заполняем таблицу 1.

Таблица 1

**Вспомогательная для расчетов уравнения регрессии**

| Годы      | y       | x     | y <sup>2</sup> | x <sup>2</sup> | xy        |
|-----------|---------|-------|----------------|----------------|-----------|
| 1994–2001 | 16,071  | 8,19  | 258,2908       | 67,076         | 131,6250  |
| 2001–2014 | 14,343  | 8,47  | 205,7176       | 71,741         | 121,4840  |
| 2015      | 29,472  | 10,61 | 868,5988       | 112,572        | 312,6979  |
| 2016      | 11,403  | 8,68  | 130,0284       | 75,342         | 98,9780   |
| 2017      | 15,400  | 10,65 | 237,1600       | 113,423        | 164,0100  |
| 2018      | 17,841  | 10,82 | 318,3013       | 117,072        | 193,0396  |
| 2019      | 14,300  | 9,58  | 204,4900       | 91,776         | 136,9940  |
| Σ         | 118,830 | 67,00 | 2222,5868      | 649,003        | 1158,8286 |

Для оценки параметров уравнения парной линейной регрессии по методу наименьших квадратов рассчитаем параметры линейного уравнения регрессии  $b_0$  и  $b_1$ . Параметр  $b_1$  равен 2,7799, а  $b_0$  равен -9,6322. Это означает, что с увеличением уровня воды на 1 м площадь затопления возрастает в среднем на 2,78 тыс. м<sup>2</sup>. Величина коэффициента эластичности позволяет сделать вывод, что с увеличением уровня воды на 1% площадь затопления возрастает в среднем на 1,57%.

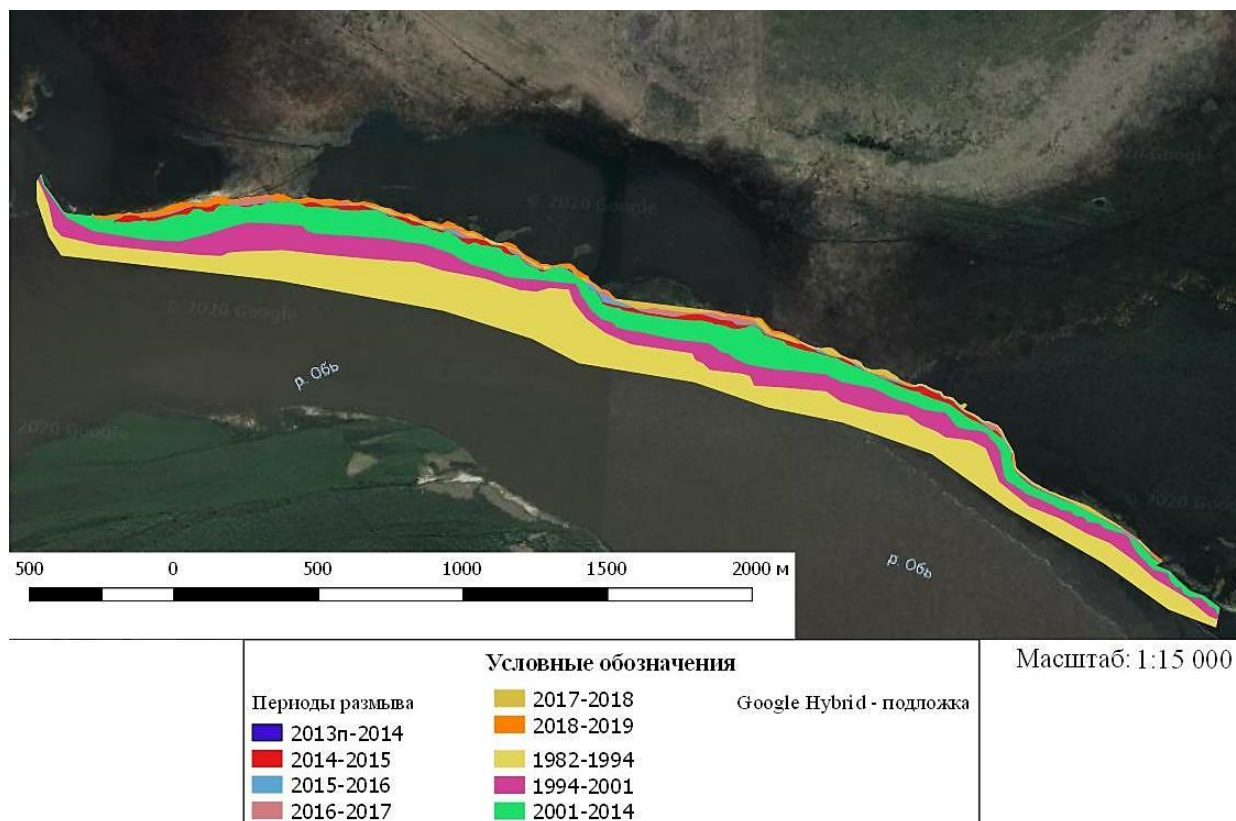


Рис. 2. Схема площадей размыва на Усть-Вахском стационаре (фрагмент взят из программы Google Earth)

Рассчитаем значения  $\hat{y}$  по формуле

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x. \quad (1)$$

Если подставим рассчитанные параметры уравнения, то получим

$$\hat{y} = -9,6322 + 2,7799 \cdot x \quad (2)$$

где  $\hat{y}$  – функция взаимосвязи между факторным признаком  $x$  и результативным признаком  $y$ ,  $b_0$  и  $b_1$  – параметры линейного уравнения регрессии.

Подставляя в полученное уравнение регрессии значения  $x$ , можно определить условные (расчетные, теоретические) значения  $\hat{y}$ . Для этого заполняем таблицу 2.

Таблица 2

**Оценка уравнения регрессии**

| Годы      | $y$     | $x$   | $\hat{y}$ | $(y - \bar{y})^2$ | $(x - \bar{x})^2$ | $(\hat{y} - y)^2$ | $(\hat{y} - \bar{y})^2$ |
|-----------|---------|-------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| 1994–2001 | 16,071  | 8,19  | 13,1355   | 0,8178            | 1,9083            | 8,6198            | 14,7478                 |
| 2001–2014 | 14,343  | 8,47  | 13,9139   | 6,9322            | 1,2131            | 0,1840            | 9,3752                  |
| 2015      | 29,472  | 10,61 | 19,8629   | 156,1561          | 1,0786            | 92,3345           | 8,3357                  |
| 2016      | 11,403  | 8,68  | 14,4976   | 31,0556           | 0,7946            | 9,5768            | 6,1410                  |
| 2017      | 15,400  | 10,65 | 19,9741   | 2,4830            | 1,1633            | 20,9225           | 8,9901                  |
| 2018      | 17,841  | 10,82 | 20,4467   | 0,7486            | 1,5589            | 6,7897            | 12,0475                 |
| 2019      | 14,300  | 9,58  | 16,9996   | 7,1597            | 0,0001            | 7,2877            | 0,0006                  |
| $\Sigma$  | 118,830 | 67,00 | 118,8303  | 205,3530          | 7,7171            | 145,7151          | 59,6379                 |

Для проверки качества выбранного уравнения нужно проверить значимость коэффициента детерминации. Общее качество уравнения регрессии оценивается по тому, как хорошо эмпирическое уравнение регрессии согласуется со статистическими данными. Для принятия гипотезы об одновременном равенстве нулю всех коэффициентов линейной регрессии коэффициент детерминации  $R^2$  не должен существенно отличаться от нуля. Поэтому для анализа значимости всех коэффициентов регрессии исследуют значимость коэффициента детерминации.

Для оценки тесноты связи между признаками  $x$  и  $y$  необходимо рассчитать линейный коэффициент корреляции по формуле:

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (3)$$

Величина  $R$  равна 0,539, по шкале Чэддока лежит в пределах  $0,5 < |R| < 0,7$ , это означает, что связь средняя (умеренная) и прямая.

Коэффициент детерминации определяет долю разброса зависимой переменной, объяснимую регрессией  $y$  на  $x$ . В общем случае справедливо соотношение  $0 \leq R^2 \leq 1$ . Чем теснее линейная связь между  $y$  и  $x$ , тем ближе коэффициент детерминации  $R^2$  к единице. Чем слабее такая связь, тем  $R^2$  ближе к нулю.

В нашем случае коэффициент детерминации  $R^2$  равен 0,2905. С помощью коэффициента детерминации  $R^2$  можем сделать вывод о том, что изменение площади затопления на 29% объясняется изменением уровня воды в реке.



Рассмотрим предсказание индивидуальных значений зависимой переменной. Пусть нас интересует некоторое возможное значение  $y_0$  площади затопления при определенном значении  $x_p$  уровня воды в реке. Для прогнозирования применим уравнение регрессии

$$\hat{y} = -9,6322 + 2,7799 \cdot x_p \quad (4)$$

где  $x_p$  – некоторое значение переменной  $x$ , т. е. уровня воды в реке.

Например, если уровень воды в реке равен 10 м, то площадь размыва будет составлять 18,2 тыс. м<sup>2</sup>.

Данный прогноз является точечным; вероятность его реализации практически равна нулю. Поэтому рассчитывается интервальная оценка прогноза

$$\hat{y}_p = -9,6322 + 2,7799 \cdot x_p \pm u \quad (5)$$

где  $u$  – доверительный интервал прогноза.

Доверительный интервал прогноза будет равен

$$u = t_\alpha m_{yx} \quad (6)$$

где  $t_\alpha$  – коэффициент Стьюдента для уровня значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы  $v = n - k - 1$ . Для уровня значимости  $\alpha = 0,1$  (т. е. с вероятностью 90%) и числе степеней свободы  $v = 5$  табличное значение коэффициента Стьюдента равно 2,015.

Средняя ошибка прогноза  $m_{yx}$  для индивидуального значения  $x_p$  рассчитывается как:

$$m_{yx} = \frac{S_e}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{\sigma_x^2}} \quad (7)$$

где  $S_e$  – остаточная дисперсия,  $\sigma^2$  – дисперсия переменной  $x$ .

Рассчитаем остаточную дисперсию

$$S_e^2 = \frac{\sum (\hat{y} - y)^2}{n - 2} \quad (8)$$

Рассчитаем дисперсию переменной  $x$

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n} \quad (9)$$

Остаточная дисперсия составит 29,243, а дисперсия переменной факторного признака  $x$  1,1024.

Рассчитаем рабочую формулу для ошибки прогноза положения линии регрессии

$$m_{yx} = 2,0404 \sqrt{1 + \frac{(x_p - 9,5714)^2}{1,1024}} \quad (10)$$

По мере удаления  $x_p$  от среднего значения доверительные интервалы расширяются. Поэтому необходимо достаточно осторожно экстраполировать полученные результаты на

прогнозные области. С другой стороны, с ростом числа наблюдений  $n$  эти интервалы сужаются к линии регрессии.

Сделаем интервальный прогноз для некоторых значений  $x_p$  (табл. 3)

Таблица 3

**Интервальная оценка прогноза**

| $x_p$ | $m_{yx}$ | $u$   | $\hat{y}$ | $\hat{y}_p$ (нижнее) | $\hat{y}_p$ (верхнее) |
|-------|----------|-------|-----------|----------------------|-----------------------|
| 8,0   | 3,673    | 7,400 | 12,607    | 5,21                 | 20,01                 |
| 8,5   | 2,915    | 5,874 | 13,997    | 8,12                 | 19,87                 |
| 9,0   | 2,323    | 4,681 | 15,387    | 10,71                | 20,07                 |
| 9,5   | 2,045    | 4,121 | 16,777    | 12,66                | 20,90                 |
| 10,0  | 2,204    | 4,441 | 18,167    | 13,73                | 22,61                 |
| 10,5  | 2,724    | 5,489 | 19,557    | 14,07                | 25,05                 |
| 11,0  | 3,445    | 6,942 | 20,947    | 14,00                | 27,89                 |

Например, если уровень воды в реке равен 10 м, то с вероятностью 90% площадь размыва будет изменяться в пределах от 13,7 до 22,6 тыс. м<sup>2</sup>.

Данная методика показывает, что при включении в прогноз дополнительных данных, напрямую связанных с размывом береговой линии, таких как уровень воды в р. Обь, точность данных будет намного выше.

Данный ключевой участок находится на пойме реки и мог бы использоваться под сенокос. За основу экономической оценки потери земель вследствие эрозионной деятельности нами была взята статья [5], где были произведены расчеты для нескольких ключевых участков на реках Обь и Вах.

Для оценки был взят участок, который находится в устье реки Вах и используется под сенокос, его площадь составляла 1 583,5 гектара. Чистая прибыль, полученная с данного участка в 2015 г., с учетом всех издержек и вычетов, составляла 9 397 200 рублей. Следовательно, с 1 гектара земли на этом участке чистая прибыль составляла 5 934,4 рубля в ценах 2015 г. Таким образом, потеря земли будет равна потере этой чистой прибыли, которая не будет получена на данном участке.

Рассчитаем денежную оценку потери земель вследствие эрозионной деятельности, используя данные по инфляции в РФ [9] за 2015–2020 гг. (табл. 4).

Таблица 4

**Оценка потери земель вследствие эрозионной деятельности**

| Годы             | Коэффициент инфляции, % | Коэффициент инфляции | Потеря земли, руб. |
|------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| 2015             | 12,91                   | 1,1291               | 6 700,5            |
| 2016             | 5,38                    | 1,0538               | 7 061,0            |
| 2017             | 2,52                    | 1,0252               | 7 239,0            |
| 2018             | 4,27                    | 1,0427               | 7 548,1            |
| 2019             | 3,05                    | 1,0305               | 7 778,3            |
| 2020 (за 10 мес) | 3,32                    | 1,0332               | 8 036,5            |

С учетом инфляции с этого же 1 га земли чистая прибыль составляет примерно 8 036 рублей. Следовательно, опираясь на всё вышесказанное, по состоянию на октябрь 2020 г.

потери от эрозии почв в площадном размыве составили 1,43 га земли или в пересчете на чистую прибыль 11 492 рубля.

Из всего этого можно сделать вывод, что потери земли являются незначительными, если бы эти земли были освоены и использовались под сельское хозяйство, а именно под сенокос.

### Литература

1. Герасимова А.С. Характеристика современных геологических процессов, развитых в долинах нижнего течения рек Оби и Иртыша // Вестник Московского ун-та. Серия: Биология, почвоведение, геология, география. 1959. №2. С. 103–111.

2. Исыпов В.А., Коркин С.Е. Русловые деформации и их мониторинг на примере Усть-Вахского стационара // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции (Нижневартовск, 2016 г.). Нижневартовск, 2016. С. 19–22.

3. Коркин С.Е., Исыпов В.А. Многолетний мониторинг русловых деформаций реки Обь на примере ключевого участка «Усть-Вахский» // Эволюция эрозионно-русловых систем, ее хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учет: Доклады и сообщения Всероссийской научно-практической конференции и XXXII межвузовского координационного совещания (Уфа, 2017 г.). Уфа, 2017. С. 156–158.

4. Коркин С.Е. Природные опасности в долинных ландшафтах среднего Приобья: Монография. Нижневартовск, 2008. 226 с.

5. Коркин С.Е., Коркина Е.А., Кушанова А.У., Соколов С.Н. Экономическая эффективность природных кормовых угодий в долине реки Оби в пределах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Бюллетень науки и практики. 2016. №1. С. 5-13.

6. Русловые процессы на реках. Морфология и динамика русел Оби и Иртыша / Н.В. Анисимова, А.С. Завадский, С.Н. Рулева и др. // Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. II. Природа и экология. Ханты-Мансийск; Москва, 2004. С. 61.

7. Соколов С.Н. Проблемы и перспективы развития экономики Нижневартовского региона Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Проблемы социально-экономического развития России на современном этапе: Материалы VI Ежегодной Всероссийской научно-практической конференции (Тамбов, 2013 г.). Тамбов, 2013. С. 256–263.

8. Соколов С.Н. Разработка экологических программ городов и их пригородных зон // Урбозкосистемы: проблемы и перспективы развития: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции (Ишим, 2018 г.). Ишим, 2018. С. 30–34.

9. Таблица уровня инфляции по месяцам в годовом исчислении. URL: <https://уровень-инфляции.рф/таблицы-инфляции>

10. Чалов Р.С. Параметризация русловых процессов для прогнозных оценок и диагностики опасных проявлений // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 5. С. 551–562.

11. Чалов Р.С. Русловые процессы (русловедение). М., 2016. 569 с.

12. Korkin S.E., Korkina E.A., Isupov V.A., Kugusheva D.A. Monitoring of bank line changes using geodetic and remote techniques // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM-18). 2018. P. 471–478. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/2.3/S11.060>

13. Kuznetsova E.A., Sokolov S.N. Spring riverfloods in Nizhnevartovsk: Specific features // Geographical Foundations and Ecological Principles of the Regional Policy of Nature Management: International Scientific and Practical Conference in Commemoration of Corr. Mem., RAS, A.N. Antipov (Irkutsk, 2019). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 381. P. 012051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012051>

©Сokolov С.Н., 2020