

УДК 502.1:504.1: 470.4

ВЛИЯНИЕ НЕФТЕДОБЫЧИ НА РАЗВИТИЕ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ В ВОЛГО-УРАЛЬСКОМ СТЕПНОМ РЕГИОНЕ

© 2023 г. К. В. Мячина^{1,*}, С. А. Дубровская¹, Р. В. Ряхов¹, академик РАН А. А. Чибилёв¹

Поступило 06.10.2022 г.

После доработки 18.10.2022 г.

Принято к публикации 19.10.2022 г.

Цель работы – рассмотреть особенности развития эрозионной сети в степной зоне со смешанным сельскохозяйственным и нефтедобывающим природопользованием. Исследования выполнялись на шести ключевых участках площадью 100 км² каждый, выделенных в пределах Волго-Уральского степного региона. Для картирования и классификации эрозионных форм рельефа использовались спутниковые изображения и исследования на местности. Выделены очаги эрозионной активности на ключевых участках за период с 1985 по 2020 г. Выполнен анализ длины и густоты пространственного распределения элементов эрозионной сети. Показано, что активизация производственной деятельности на нефтяном месторождении способна инициировать новые и усиливать текущие эрозионные процессы – в период максимальной техногенной нагрузки общая протяженность элементов эрозионной сети может увеличиваться более чем на 50%. Наблюдается устойчивый рост суммарной длины объектов эрозионной сети в ходе увеличения периода эксплуатации месторождений. Сельскохозяйственные земли, находящиеся в зоне влияния нефтепромысла, подвержены повышенному риску деградации почвенных ресурсов, что актуализирует задачи защиты земель от техногенных преобразований и их возврата в сельскохозяйственный оборот.

Ключевые слова: добыча нефти, сельскохозяйственные земли, эрозионные процессы, Волго-Уральский степной регион

DOI: 10.31857/S2686739722602162, **EDN:** SWOXDP

ВВЕДЕНИЕ

В российских степных регионах разрабатывается более 500 нефтегазовых месторождений, что определяет масштабность техногенного воздействия на естественные и аграрные ландшафты. Тесное соседство элементов инфраструктуры сельскохозяйственной и нефтедобывающей отраслей приводит к созданию комплекса взаимосвязей, вызывающих определенные экологические и социально-экономические последствия. Развитие или активизация эрозионных процессов в ходе производственных работ – один из основных факторов техногенной дестабилизации естественных и аграрных ландшафтов, нередко способствующих выводу из оборота продуктивных угодий и созданию определенной социально-экономической напряженности в масштабах затронутых территориальных единиц [1, 2]. В подобных случаях ожидаемо встают задачи защиты

земель от техногенных преобразований и их возврата в сельскохозяйственный оборот [3].

Безусловно, существует множество естественных факторов развития эрозионных процессов. Существенное влияние на их интенсивность оказывают зональные характеристики местности: пересеченность рельефа, характер ливневых осадков, сильная скорость ветра, иссушение почвы, невысокое содержание в ней гумуса наряду с большим количеством пылеватых и песчаных частиц, карбонатность материнских пород [4–6]. Однако известно, что в результате многолетней эксплуатации нефтяных месторождений в почвах отмечается повышение концентрации газообразных углеводородов, способствующих образованию грифонов (прорыв газа из затрубного пространства буровой скважины), вызывающих проседание почвенных горизонтов [7, 8]. Далее, при воздействии постоянных и временных водотоков на таких участках возможно образование промышленной овражно-балочной сети. Для формирования техногенной эрозии достаточными условиями являются игнорирование особенностей рельефа местности и отсутствие на участке месторождения обустроенной дренажной системы поверхностных и приповерхностных грунтовых вод.

¹Институт степи Уральского отделения
Российской академии наук, Оренбургского федерального
исследовательского центра Российской академии наук,
Оренбург, Россия

*E-mail: mavicsen@gmail.com

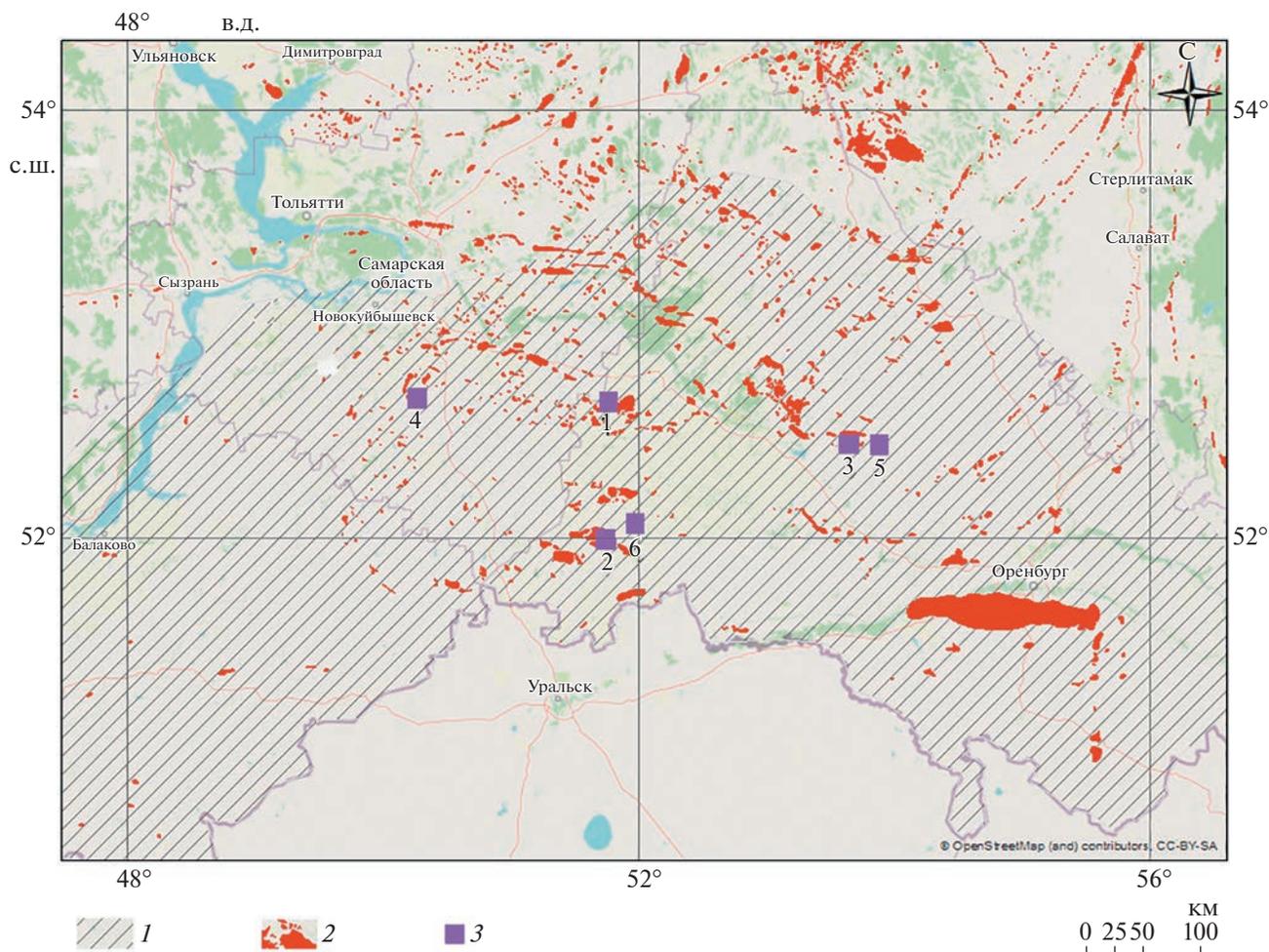


Рис. 1. Территория исследования с обозначением ключевых участков: 1 – Волго-Уральский степной нефтегазоносный регион, 2 – контуры нефтегазовых месторождений, 3 – ключевые участки исследования.

Эрозионные процессы могут возникать или усиливаться при воздействии постоянных и временных водотоков, активном использовании техники, перемещении больших объемов грунта и строительных материалов [9]. «Заточенность» некоторых, в основном – мелких, компаний-недропользователей преимущественно на извлечение финансовой выгоды, стремление максимизировать прибыль в ущерб геоэкологическому состоянию ландшафтов способствует возникновению подобных осложнений.

Связанные с нефтедобычей геоэкологические и социально-экономические последствия являются не только российской проблемой, но и входят в перечень острейших вопросов в других нефтедобывающих странах, подтверждая актуальность изучаемой темы [10, 11].

Основная цель предлагаемой работы – рассмотреть закономерности развития эрозионной сети в степном регионе со смешанным аграрно-нефтедобывающим природопользованием.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнялись в Волго-Уральском степном регионе, где сельскохозяйственная деятельность и добыча нефти являются базовыми отраслями производства. Нефтедобыча в регионе ведется более 80 лет, что определяет глубину и масштабность техногенной трансформации ландшафтов, включая развитие экзогенных процессов.

Динамика эрозионной сети изучалась на шести ключевых участках площадью около 100 км² каждый (рис. 1).

Из них на четырех участках ведется активная нефтедобыча различной длительности, объекты нефтепромыслов размещены в тесном соседстве с сельскохозяйственными угодьями. Еще два участка выделены как эталонные, нефтедобыча на них отсутствует. Некоторые природные характеристики, определяющие предрасположенность ландшафтов ключевых участков к развитию природно-техногенной эрозии, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Фоновые характеристики ключевых участков, определяющие предрасположенность ландшафтов к развитию природно-техногенной эрозии

№ ключевого участка	Средний уклон, град	Среднее годовое количество осадков, мм	Допустимая средняя неразмывающая скорость потока для подстилающих пород, м/с [3]
1	1.2	350–400	1.0
2	1.6	300–350	1.0
3	1.2	350–400	1.3
4	0.8	350–400	1.0
5	1.7	350–400	1.3
6	1.6	300–350	1.0

Как видно в табл. 1, все исследуемые участки характеризуются пологим рельефом (менее 3°), схожим и типичным для степной зоны среднегодовым количеством осадков, почти аналогичным невысоким показателем допустимой средней неразмывающей скорости потока для подстилающих пород. Исходя из указанных характеристик, можно предположить, что ключевые участки обладают сходной предрасположенностью к развитию природно-техногенной эрозии.

Анализ развития эрозионной сети на ключевых участках выполнялся путем экспертной обработки снимков спутников Ландсат (Landsat) и изображений приложения Планета Земля (Google Earth). Полученные данные верифицировались на местности в ходе полевых выездов.

На первом этапе исследования оцифровывалась эрозионная сеть ключевых участков по состоянию на 1985, 2000 и 2020 г. Выявленные элементы эрозионной сети делились на два класса: овраги (глубина 10–20 м, ширина до 30 м) и балки (глубина до 30 м, ширина до 50 м) [13]. Затем осуществлялось зонирование участков по густоте эрозионной сети. Для каждого из трех изучаемых временных срезов выделялись следующие зоны:

- с низкой густотой (менее 400 м/км²),
- со средней густотой (400–600 м/км²),
- с высокой густотой (более 600 м/км²),

На заключительном этапе исследования определялись количественные показатели эрозионной сети:

- слабое снижение общей длины (до 5%)
- отсутствие динамики
- слабый рост общей длины (до 5%)
- значительный рост общей длины (более 5%)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количественные результаты исследования представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 следует, что на первом участке исследования за два последних десятилетия не происходило значимого усиления эрозионных процессов. Это можно объяснить достижением природно-техногенной геосистемой месторождения стадии падающей добычи и, соответственно, снижения техногенной нагрузки [14]. Нефтяное месторождение здесь разрабатывается более 50 лет, за которые миновало несколько производственных циклов, включая этап максимальной добычи и максимального техногенного воздействия. К сожалению, нет возможности оценить эрозионную сеть на участке до начала функционирования нефтепромысла (1950 г.) – отсутствуют спутниковые снимки. Хотя можно предположить, что именно в период с начала эксплуатации месторождения до 1985 г. наблюдалось наиболее интенсивное развитие эрозионной сети.

На втором ключевом участке исследования месторождение находится на стадии активной добычи, что отражается на уровне техногенной нагрузки, и ее высокие показатели обуславливают инициацию эрозионных процессов. За более чем 30 лет разработки месторождения произошел рост суммарной длины элементов эрозионной сети на 9%; доля территории с высокой густотой эрозионной сети увеличилась более чем в два раза.

Нефтяное месторождение третьего ключевого участка также находится в стадии интенсивной разработки, что сказывается на показателях динамики эрозионной сети. Общая длина элементов за более чем двадцать лет функционирования нефтепромысла возросла на 51%; доля территории с высокой густотой эрозионной сети в границах участка увеличилась почти в два раза.

Четвертый ключевой участок исследования расположен в Самарской области, на Приволжской возвышенности. Рельеф возвышенности, расчлененный оврагами, балками и речными долинами, изначально предопределяет высокие показатели развития эрозионной сети. В ходе разработки месторождения эти показатели показывают слабый рост в части суммарной длины

Таблица 2. Динамика показателей эрозионных процессов на ключевых участках исследования

№ ключ. участка (рис. 1)	Период начала нефтедобычи	Суммарная длина элементов эрозионной сети в 1985 г. (км)	Суммарная длина элементов эрозионной сети в 2000 г. (км)	Суммарная длина элементов эрозионной сети в 2020 г. (км)	Направления динамики эрозионной сети
		Доля территории со средней и высокой плотностью эрозионной сети	Доля территории со средней и высокой плотностью эрозионной сети	Доля территории со средней и высокой плотностью эрозионной сети	
1	Начало 60-х гг. XX в.	219 км 13%	224 км 12%	224 км 12%	Слабый рост
2	Начало 80-х гг. XX в.	224 км 11%	229 км 13%	244 км 25%	Значительный рост
3	Начало 90-х гг. XX в.	147 км 6%	168 км 7%	221 км 11%	Значительный рост
4	Начало 80-х гг. XX в.	310 км 29%	313 км 29%	317 км 31%	Слабый рост
5	Нефтедобыча отсутствует	117 км 2%	117 км 2%	117 км 2%	Отсутствие динамики
6	Нефтедобыча отсутствует	150 км 5%	139 км 2%	148 км 3%	Слабое снижение

элементов (рост на 2%), однако наблюдается изменение структуры элементов — увеличение доли оврагов, что свидетельствует об активизации процессов вторичного оврагообразования (рис. 2).

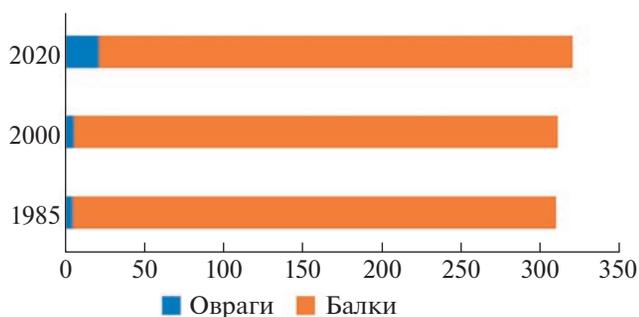
На рис. 3 представлен пример многолетней динамики плотности и пространственной локализации элементов эрозионной сети на ключевом участке № 4, построенной на основе полученных геоинформационных показателей. Приведенная на рис. 3 информация позволяет связать размещение объектов нефтепромысла и интенсификацию эрозионных процессов.

На рис. 3 видно, что очаги роста эрозионной активности (более 3 км/км²) приурочены к объектам нефтедобычи. Высокая плотность техниче-

ских сооружений способствует повышенной активности эрозионных процессов. Морфометрические особенности рельефа, сочетающиеся со спецификой воздействия нефтепромысловой инфраструктуры, привели к тому, что за время разработки месторождения активность эрозионных процессов значительно возросла за счет развития вторичного оврагообразования.

Пятый ключевой участок исследования — эталонный, нефтедобыча здесь не осуществляется, но весь исследуемый период без значительных перерывов ведутся сельскохозяйственные работы. Участок характеризуется отсутствием динамики эрозионных процессов. Этот участок расположен в Оренбургской области, в непосредственной близости от ключевого участка № 3, т.е. обладает схожими ландшафтными и локальными климатическими параметрами (см. табл. 1). Отсутствие динамики эрозионных процессов на эталонном участке № 5 доказывает связь роста показателей эрозионной сети на участке № 3 с функционированием нефтепромысла.

На шестом ключевом участке — эталонном, соседствующим с участком № 2 в Оренбургской области вблизи с границей с Казахстаном, также отсутствует нефтедобыча и ведется сельскохозяйственное земледелие. При этом здесь наблюдается даже некоторое снижение общей длины элементов эрозионной сети (на 1,3%) и доли территории с высокой плотностью эрозионной

**Рис. 2.** Динамика общей и поэлементной длины эрозионной сети на ключевом участке № 4 (1985–2020 гг.).

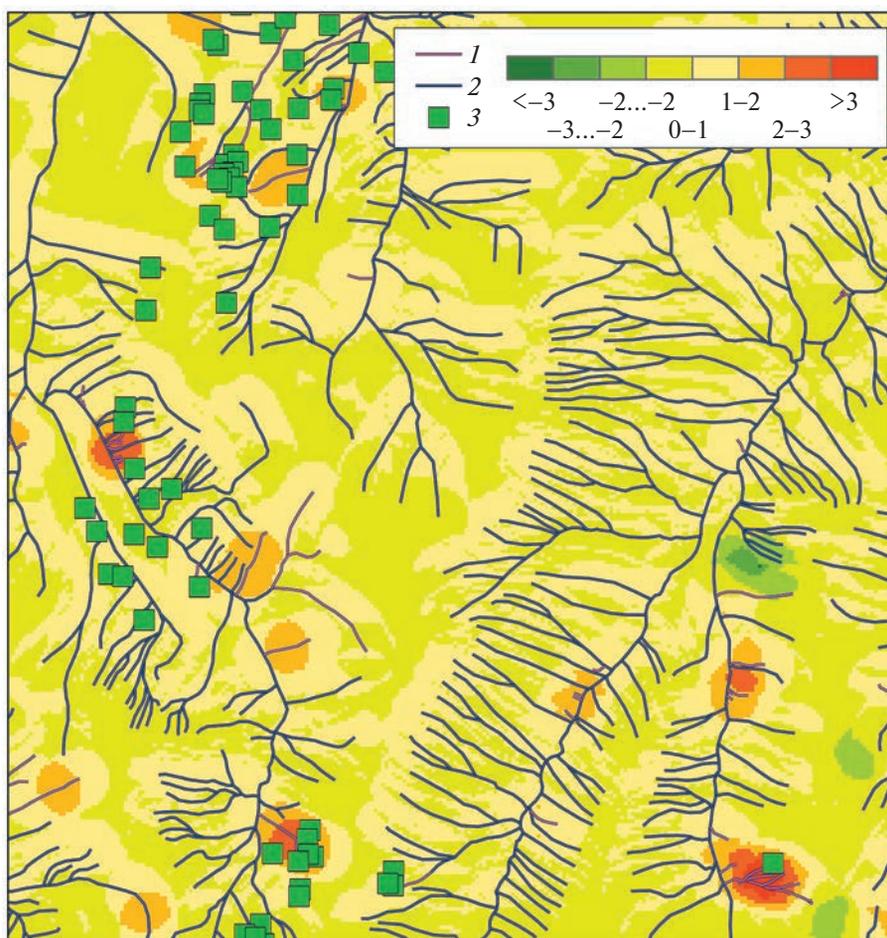


Рис. 3. Интегральная картосхема динамики эрозионных процессов (шкала интенсивности развития за 1985–2020 гг., км/км²) и структуры овражно-балочного рельефа на ключевом участке № 4. Цифрами на картосхеме обозначены: 1 – овраги, 2 – балки; 3 – объекты недропользования.

сети (на 2%), что связано с сокращением площади пашни.

Можно утверждать, что активизация техногенной деятельности на месторождениях инициировала новые и усилила текущие эрозионные процессы. Увеличение количества объектов нефтедобычи и ее интенсивности совпадает с ростом протяженности эрозионной сети. На местности выявлено, что техногенные овраги расположены как локально, вокруг обваловки площадок скважин, так и могут становиться центрами техногенного оврагообразования. Внедрение многочисленных точечных и площадных объектов нефтепромысла ведет к активизации деструктивных процессов, направленных в сторону базиса эрозии, включая процессы вторичного оврагообразования, вызванные, по-видимому, частичным изменением структуры локального водосбора. Некоторые из балочных форм выступают в роли коллекторов отработанных жидкостей, русла других разрушаются или перекрываются при меха-

нических воздействиях, тем самым создавая упор для накопления осадков.

Хотя существует пространственная привязка объектов нефтедобычи к лицензионному участку, ограничивающая варианты их расположения, необходимо в каждом конкретном случае минимизировать вероятность эрозионных процессов при внедрении нефтедобывающей инфраструктуры. Исходя из специфики объектов (в большинстве – точечных), наиболее логичным будет применение правила ландшафтной адаптивности на основе оценки локальных факторов. Например, фактор склоново-экспозиционной дифференциации ландшафтных местоположений является одним из наиболее существенных, влияющих на вероятность и силу проявления эрозионных процессов – как правило, к эрозионноопасным относят участки с уклоном более 3°. Еще одним важным параметром, влияющим на вероятность выветривания и интенсивность проявления эрозионных процессов, считается солярная экспозиция склона. При прочих равных условиях в северном полуша-

рии на южных и юго-восточных склонах зона разрушенных и поврежденных эрозией почв значительно шире, соответственно, они более подвержены негативным процессам в результате техногенных воздействий. Подобные различия связаны с дифференцированными микроклиматическими условиями, порожденными неравномерным распределением солнечного освещения. Кроме того, в нефтегазоносной части Волго-Уральского степного региона преобладают южные ветры, в связи с чем на наветренных южных склонах накапливается меньше снега. По этим причинам на северной, более заснеженной и теневой стороне склонов лучше развит растительный покров, сдерживающий процессы склоновой эрозии. Соответственно, одним из подходов может быть – например, на эрозионно-опасных склонах. Безусловно, это лишь пример наиболее простого решения, в то время как при его выборе должны оцениваться и другие составляющие и позиционные факторы различного рода. Например, альтернативное размещение может быть связано с выведением из сельскохозяйственного оборота ценных угодий, что противоречит мнениям о необходимости законодательного ограничения отводов наиболее продуктивных земель для несельскохозяйственных нужд. Выделение такого неприкосновенного “элитного фонда” земель должно опираться на материалы качественной экономической и ландшафтно-мелиоративной оценки земель, а не просто бонитировки почв, о чем нами ведется речь уже не одно десятилетие [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геоэкологическая составляющая любого вида масштабной производственной деятельности, развернутой на мировом уровне, играет существенную роль в модификации экологической и социально-экономической ситуации – окружающая среда, экономика и социум являются связанными системами. Специфика эколого-географических исследований предполагает обоснованное распространение на схожие территории выводов, сделанных по результатам изучения отдельных локальных участков. Соответственно, выявленные на локальных репрезентативных участках исследования закономерности развития эрозионных процессов позволяют говорить об аналогичных закономерностях на всех масштабах иерархической лестницы трансформированных степных и аналоговых территорий – локального, субрегионального, регионального и более крупных уровней. Проявляются значимость полученных результатов и актуальность разработки методов сохранения ценных сельскохозяйственных земель, которая является обязательным требованием для поддержания аграрного производства и,

соответственно, благополучных социально-экономических условий в нефтеносных регионах.

Для предотвращения или снижения интенсивности экзогенных процессов, вызванных техногенными причинами, необходимо:

– ограничить развитие инфраструктуры нефтегазовых промыслов в пределах эрозионно-опасных земель;

– предусмотреть мелиоративные мероприятия, направленные на снижение интенсивных эрозионных процессов.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены за счет средств гос. задания ИС УРО РАН (№ ГР АААА-А21-121011190016-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang G., Innes J., Yusheng Y., Shanmu C., Krzyzanowski J., Jingsheng X., ... Wenlian L. Extent of soil erosion and surface runoff associated with large-scale infrastructure development in Fujian Province, China // *Catena*. 2012. № 89 (1). С. 22–30.
2. Arabameri A., Pradhan B., Bui D.T. Spatial modelling of gully erosion in the Ardib River Watershed using three statistical-based techniques // *Catena*. 2020. № 190. 104545.
3. Борисюк Н.К. Нефть и экономика. М: ЗАО Издательство “Экономика”, 2009. 340 с.
4. Dotterweich M., Stankoviansky M., Minár J., Koco Š., Papčo P. Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia // *Geomorphology*. 2013. № 201. С. 227–245.
5. Trabucchi M., Comín F.A., O’Farrell P.J. Hierarchical priority setting for restoration in a watershed in NE Spain, based on assessments of soil erosion and ecosystem services // *Regional Environmental Change*. 2013. № 13 (4). С. 911–926.
6. Аввакумова А.О. Математическое моделирование факторов эрозии почв на пахотных землях (на примере территории Республики Татарстан) // *Региональные геосистемы*. 2020. № 44 (1). С. 5–15.
7. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. М.: ГЕОС, 2003. 170 с.
8. География овражной эрозии. Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: изд-во МГУ, 2006. 324 с.
9. Григорьев И.И., Рысин И.И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. 2006. № 11. С. 83–92.
10. Jones N.F., Pejchar L. Comparing the Ecol. Impacts of Wind and Oil and Gas Development: A Landscape Scale Assessment // *PLOS one*. 2013. № 8 (11).
11. Baynard C.W., Mjachina K., Richardson R.D., Schupp R.W., Lambert J.D., Chibilyev A.A. Energy Development in Colorado’s Pawnee National Grasslands: Mapping and Measuring the Disturbance Footprint of Renewables

- and Non-Renewables // Environmental Management. 2017. № 59 (6). С. 995–1016.
12. *Аввакумова А.О.* Математическое моделирование факторов эрозии почв на пахотных землях (на примере территории Республики Татарстан) // Региональные геосистемы. 2020. № 44 (1). С. 5–15.
13. *Леонтьев О.К., Рычагов Г.И.* Общая геоморфология. М.: Высшая школа, 1979. 287 с.
14. *Мячина К.В., Петрищев В.П., Чибилёв А.А., Краснов Е.В.* Особенности формирования и принципы функционирования техногеосистем нефтегазовых месторождений // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42. № 1. С. 16–25.
15. *Чибилёв А.А.* Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 164 с.

THE IMPACT OF OIL PRODUCTION ON THE EROSION NETWORK DEVELOPMENT IN VOLGA-URAL STEPPE REGION

K. V. Myachina^{a,#}, S. A. Dubrovskaya^a, R. V. Ryakhov^a, and Academician of the RAS A. A. Chibilev^a

^a*Steppe Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia*

[#]*E-mail: mavicsen@gmail.com*

The purpose of the work is to consider the features of the erosion network development of the in the steppe zone with mixed agricultural and oil-producing land use. The research was carried out on six key study plots with an area of 100 km² each which allocated within the Volga-Ural agricultural and oil region. Satellite images and fieldwork were used to digitize, map and classify erosive landforms. The main directions of erosion activity at key plots are identified for the period from 1985 to 2020. The analysis of the length and density of the spatial distribution of the erosion elements is carried out. It is shown that the activation of production activities at an oilfield is capable of initiating new and strengthening current erosion processes. During the time of maximum technogenic load, the total length of the erosion elements can increase by more than 50%. There is a steady increase in the total length of the erosion network during the increase in the time of operation of the oil field. Agricultural lands located in the zone of the oilfield are influence increased risk of soil erosion. In such cases, the tasks of protecting land from technogenic transformations and their return to agricultural circulation are actualized.

Keywords: oil production, agricultural lands, erosion processes, Volga-Ural steppe region