

1. **ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**
1.6.12 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки)

Научная статья

УДК 911.52

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.2>

ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ СТЕПЕЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ УГЛЕВОДОРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Сергей Александрович Сидоренко

Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация); Самаранипинефть, Управление инженерных изысканий (д. 18, ул. Вилоновская, г. Самара, 443010, Российская Федерация)
sidorenkosa-10@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4095-2778>

Аннотация.

Объектом исследования являются почвы Оренбургской области, Бузулукского района, загрязненные поллютантами. Целью исследования является выявление закономерностей накопления тяжелых металлов в южных черноземах, подвергшихся углеводородному загрязнению, и исследуемого конгломерата поллютантами Европейской части степей России. А также установление совокупности факторов и подтверждение их влияния на устойчивость ландшафтов в условиях деградации почв и дальнейшего образования геохимических барьеров, сформированных поллютантами. Материалами и методами исследований являются литература ведущих специалистов России, изучающих данную проблематику, а также нормативно-правовая документация: ГОСТы, СанПиНы, Постановления Правительства РФ. Построен картографический и графический материалы, которые отображают точки отбора проб, содержание и зависимость элементов от загрязнителей. Было проведено полевое обследование (рекогносцировка местности) в условиях элювиального формирования почвенного и почвообразующего накопления, на фоне изменения процессов формирования геохимических цепочек. С участка отобраны почвенные образцы, проведен синтаксоидный анализ. Определена совокупная величина предельно допустимых концентраций поллютантов в почвах исследуемого участка в границах административного района трех месторождений нефти. По итогам ис-

следования выявлена закономерность накопления тяжелых металлов от площади геохимического барьера, сформированного загрязнением нефтепродуктами. Визуализирована перспектива развития влияния накоплений поллютантов на трансформацию природного ландшафта. На участках, загрязненных поллютантами, необходимо проведение рекультивационных работ: технического и биологического этапа, с соблюдением охраны окружающей среды.

Ключевые слова: загрязнения тяжелыми металлами, гумус, южные черноземы, элювиальный ландшафт, углеводородный барьер, физико-химический барьер, деградации почв, степи

Для цитирования: Сидоренко С. А. Техногенная трансформация почв степей Европейской части России в условиях углеводородного загрязнения // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 27–62. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.2>

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 08.02.2024;
одобрена после рецензирования 15.04.2024;
принята к публикации 25.04.2024.

1.6.11. Physical Geography and Biogeography, Soil Geography and Landscape Geochemistry (Geographical Sciences)

Research article

Technogenic transformation of steppe soils of the European part of Russia under conditions of hydrocarbon pollution

Sergey A. Sidorenko

North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation); Samaranipineft, Department of Engineering Surveys (18, Vilonovskaya St., Samara, 443010, Russian Federation) sidorenkosa-10@mail.ru;
<https://orcid.org/0009-0003-4095-2778>

Abstract. The object of the study is the soils of the Orenburg region, Buzuluk district, contaminated with pollutants. The aim of the study is to identify patterns of accumulation of heavy metals in southern cherno-

zems that have been subjected to hydrogen pollution and the studied conglomerate by pollutants of the European part of the steppes of Russia. As well as the establishment of a set of factors and confirmation of their influence on the stability of landscapes in conditions of soil degradation and further formation of geochemical barriers formed by pollutants. The materials and methods of research are the literature of leading Russian specialists studying this issue, as well as regulatory and legal documentation: GOST standards, SanPiNs, Resolutions of the Government of the Russian Federation. Cartographic and graphic materials have been built that display sampling points, the content and dependence of elements on pollutants. A field survey (reconnaissance of the area) was conducted in the conditions of eluvial formation of soil and soil-forming accumulation, against the background of changes in the processes of formation of geochemical chains. Soil samples were taken from the site, and a syntaxoid analysis was performed. The total value of the maximum permissible concentrations of pollutants in the soils of the studied area within the boundaries of the administrative region of three oil fields has been determined. According to the results of the study, a pattern of accumulation of heavy metals from the area of the geochemical barrier formed by pollution with petroleum products was revealed. The perspective of the development of the influence of accumulations of pollutants on the transformation of the natural landscape is visualized. In areas contaminated with pollutants, it is necessary to carry out reclamation works: technical and biological stages, in compliance with environmental protection.

Keywords: heavy metal pollution, humus, southern chernozems, eluvial landscape, hydrocarbon barrier, physico-chemical barrier, soil degradation, steppes

For citation: Sidorenko SA. Technogenic transformation of steppe soils of the European part of Russia under conditions of hydrocarbon pollution. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):27-62. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.2>

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 08.02.2024;
approved after reviewing 15.04.2024;
accepted for publication 25.04.2024.

Введение

Проблема устойчивости природных ландшафтов в условиях расширения техногенных барьеров кроется в современных представлениях о происхождении черноземных почв, базирующихся на основе гипотезы растительно-наземного происхождения В.В. Докучаева, П.А. Костычева, А.А. Измаильского, Г.Н. Высоцкого, Л.И. Прасалова, П.Г. Адерихина, Е.Л. Афанасьевой.

По данным Н.Ф. Ганжара (2001), ведущим процессом формирования черноземов являются дернование, аккумуляция биофильных элементов и формирование устойчивой структуры к эрозии под воздействием травянистой растительности [1].

Почвообразованием в черноземах является гумусообразование в условиях высокого количества ежегодного опада, преобладающих частей опада и корневой системы, насыщенности минеральной части почв кальцием и магнием, близкой к нейтральной реакции среды, умеренной биологической активности [2].

Дерновый процесс в черноземах сочетается с рядом других процессов: элювиальными (выщелачивание, оподзоливание, лессиваж, осолодение), метаморфическими (оглеение, оглинение, слитизация), гидрогенно-аккумулятивными (олугование, засоление), иллювиально-аккумулятивными (карбонатно-иллювиальный). Причиной появления и накопления почв является «живое вещество», в результате жизнедеятельности которого образуется специфический органический полимер — гумус [3]. Фундамент экологической устойчивости почвенной экосистемы составляют природные биогеохимические массообмены вещества, энергии и информации [4].

В гумусовых образованиях содержатся макро- и микроэлементы, среди которых полисахариды природного происхождения ($C_x(H_2O)_y$), жирные кислоты ($COOH$), полифенолы (бензольному (фенильному) кольцу гидроксильной ($-OH$) группы и кетоны), катехины (антиоксидант), дубильные вещества ($Zn(OH)Cl$, $Cu_2(OH)_2CO_3$), изофлавоноиды (класс фенольных соединений флавоноидов), хиноны (антибактериальные вещества). Система ландшафтообразования направлена на удержание твердых частиц, где адсорбентами выступают гумус и глина, притягивая и удерживая многие вещества — как полезные, так и вредоносные. Функцио-

нально данный процесс основан на физических, химических и биологических закономерностях взаимодействия твердых, жидких тел, связующих их энергией. Совокупность всех процессов почвообразования формирует геохимию ландшафта, в структуре которой поллютанты вносят свои коррективы.

В рамках экологической оценки состояния почв в условиях загрязнения ландшафта тяжёлыми металлами основной интерес представляют изменения механических и химических показателей при формировании устойчивого, в основном горизонтального, углеводородного, геохимического барьера. Проблематика изучения устойчивости почв заключается в недостаточности натурных исследований [7].

В нефтезагрязненной почве происходят необратимые изменения морфологических, физических, физико-химических и микробиологических свойств, а иногда и существенная перестройка всего почвенного профиля:

- разрушение целостности почвы вследствие склеивания структурных отдельностей;
- изменение характера границ между горизонтами;
- увеличение вязкости и плотности почвенной массы;
- возрастание запасов углерода во всех генетических горизонтах;
- подавление реакций аммонификации и нитрификации;
- ухудшение азотного режима почвы из-за возрастания соотношения между углеродом и азотом [4].

Проблема устойчивости почв вытекает из следующих положений [5]:

- естественного и антропогенного формирования почв;
- перспектив экзогенного воздействия на почвы.

Проблематика изучения устойчивости почв заключается в недостаточности натурных исследований [6].

Последние научные исследования состояния природных ландшафтов основаны на изучении литературы и космических съемок

Оренбургской области, проведённых в 2015 г. В Самарской области в 2018 г. изучалось влияние загрязнённых почв на плодородие культивируемых растений. На данный момент исследований в выбранном направлении не ведётся.

Материалы и методы исследований

Оценка качества почвы выполнена с учетом требований ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» [8], ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве» [9]. Фоновые значения приведены согласно «Ежегоднику. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2018 году» [10].

При применении инженерно-экологических методик изучения почв в рамках подготовки ландшафтной оценки отведенной части территории месторождения, с выявлением участка, загрязнённого тяжелыми металлами, загрязнённость определяется количественным показателем. Пробы почв на химический анализ отбирались из верхнего почвенного горизонта (0-30 см) методом «конверта» в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-83 [11].

В результате полевых работ, проведенных в период с 2018 г по 2023 г., был проведен отбор почвенных образцов. На базе аккредитованного лабораторного комплекса анализа проб почв проводились по 11 показателям, согласно требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03 [12]: рН, бенз(а)пирен, нефтепродукты, нитраты, а также валовое содержание свинца, кадмия, цинка, меди, никеля, мышьяка и ртути. В соответствии с ГОСТ 17.5.4.02-84: рН, гумус, натрий обменный в % от емкости катионного обмена, хлориды, гидрокарбонаты, сульфаты, кальций, магний, натрий и калий, сумма токсичных солей, сухой остаток, гранулометрический состав [13].

Результаты исследований и их обсуждение

Территория исследования расположена в Оренбургской области, Бузулукском районе на Общесыртовско-Предуральской возвышенности, восточной части Бузулукской впадины, Восточно-Оренбургского сводового поднятия, Большекинского ва-

ла, Муханово-Ероховского прогиба, Бузулукской впадины, предуральского краевого прогиба, которые находятся в провинции степной зоны, типчаково-ковыльных степей.

Изыскание проводилось на территории, фундамент которой сложен геологическими комплексами четвертичного периода. Рельеф местности представляет собой всхолмленную равнину, расчлененную современной овражно-балочной сетью. По генетическому типу описываемая территория относится к денудационным равнинам олигоценного возраста, которая морфологически выражена сочетанием генетически однородных поверхностей: водоразделов, склонов, террас в речных долинах, а также разнообразных по генезису форм рельефа.

На данной территории получил распространение чернозем южный слабогумусированный маломощный среднесуглинистый. Почвообразующими породами послужили делювиальные глины и суглинки. Подземные воды вскрываются на глубинах от 3,9 м до 10,5 м на первой террасе и на 9–17 м на второй террасе, воды от слабокислой до слабощелочной среды (рН 6,4–7,4). Мощность гумусового горизонта составляет в среднем 36 см, содержание гумуса в верхнем горизонте 4,7–5,0 %. Содержание частиц менее 0,01 мм («физической глины») 38,0–39,7 %. Обеспеченность подвижным фосфором низкая, а обменным калием высокая. В ходе полевых работ построен морфологический профиль черноземов, который складывается из пяти генетических горизонтов А-АВ-В-ВС-С следующим образом:

- Ап 0-24 см – сухой, темно-серый, глинистый, комковато-пылеватый, рыхлый, корни растений, переход по линии пахотного слоя.
- А 24-34 см – свежий, буровато-серый, глинистый, комковатый, рыхлый, корни растений, переход постепенный.
- В 34-46 см – свежий, серо-бурый, глинистый, зернисто-комковатый, уплотненный, нити корней растений, переход постепенный.
- ВС 46-90 см – влажный, свежий, желто-палевый со значительными гумусовыми затеками, глинистый, комковато-ореховатый, очень плотный, редкие нити корней растений, переход постепенный.

С 90–140 см – свежий, желтый, глинистый, крупно-комковатый, плотный.

Южные чернозёмы характеризуются благоприятными физико-химическими свойствами: большой ёмкостью поглощения, высокой обменной способностью. Количество поглощённого кальция достигает 26,4–33,2 мг-экв на 100 г почвы в тяжелосуглинистых и несколько ниже в средне- и легкосуглинистых разновидностях – 20,5–24,9 мг-экв на 100 г. почвы. Содержание магния колеблется от 6,2 мг-экв до 16,4 мг-экв на 100 г почвы. Для южных чернозёмов характерно присутствие в почвенно-поглощающем комплексе незначительного количества ионов натрия – 0,04–0,63 мг-экв на 100 г почвы.

Определение форм и степени влияния углеводов на почвы исследуемого участка по результатам анализа отобранных проб обобщены количественными показателями. Приведены данные анализов проб почв с незагрязнённой территории, примыкающей к площади, загрязнённой углеводородами (табл. 1).

Содержание рН на глубине 0–0,3 м составляет от 7,16 до 7,64, на глубине 0,3–0,6 м от 7,09 до 7,76, а на глубине 0,6–1 м содержится от 7,24 до 7,52.

Содержание гумуса уменьшается во всех 3 пробах с увеличением глубины. На глубине 0–0,3 м содержание гумуса варьируется от 2,16 % до 2,38 %. Содержание в пахотном горизонте гумуса характеризует почву, как слабогумусированную. На глубине от 30 до 60 см органическое вещество колеблется от 1,04 % до 1,61 %. От 0,6 до 1 м содержание гумуса составляет 0,28–0,56 %.

Обменный натрий в почве на глубине до 30 см содержится в количестве 0,3–0,5%. На глубинах 0,3–0,6 и 0,6–1 м, составляет от <0,1 до 0,2 %.

Сумма токсичных солей на всех глубинах составляет менее 0,05 %.

Сухой остаток в почве на всех глубинах содержится менее 0,100 %.

Содержание физической глины в почвах на глубине 0–0,3 м составляет 45–47 %; на глубине 0,3–0,6 м от 42 до 48 %, а на глуби-

Таблица 1.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ, НЕ ЗАГРЯЗНЕННЫЕ
УГЛЕВОДОРОДАМИ

Table 1. Physical-chemical properties of soils not contaminated with
hydrocarbons

№ п/п	Глубина отбора, м	рН, ед	Гумус, %	Обмен- ный Na, %	Сумма токсичных солей, %	Сухой остаток, %	Физическая глина, %
Шурф 1							
1	0,0-0,3 м	7,46	2,38	0,4	<0,05	< 0,100	46
2	0,3-0,6 м	7,75	1,19	0,2	<0,05	< 0,100	43
3	0,6-1,0 м	7,49	0,48	0,2	<0,05	< 0,100	41
Шурф 2							
4	0,0-0,3 м	7,64	2,25	0,3	<0,05	< 0,100	47
5	0,3-0,6 м	7,09	1,61	< 0,1	<0,05	< 0,100	42
6	0,6-1,0 м	7,24	0,56	< 0,1	<0,05	< 0,100	40
Шурф 3							
7	0,0-0,3 м	7,16	2,16	0,5	<0,05	< 0,100	45
8	0,3-0,6 м	7,76	1,04	0,2	<0,05	< 0,100	48
9	0,6-1,0 м	7,52	0,28	< 0,1	<0,05	< 0,100	41

не 0,6–1 м от 40 до 41 %. Содержание физической глины определяют почву как среднесуглинистую.

Фоновые образцы почвы на нитраты, бенз(а)пирен и нефтепродукты отобраны с ненарушенного участка. Результаты представлены в таблице 2.

По альтернативному методу оценки содержания нефтепродуктов (по таблице 4 Письма МПР РФ № 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.93) [14] уровень загрязнения почвы нефтепродуктами

во всех пробах не превышает 1000 мг/кг, что соответствует первому допустимому уровню загрязнения.

Содержание нитратов, бенз(а)пирена и нефтепродуктов в каждой пробе не превышает предельно допустимую концентрацию.

Также были отобраны образцы на валовое содержание тяжелых металлов в почве (кадмий, свинец, цинк, медь, никель, мышьяк, ртуть) (табл. 3).

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ФОНОВЫХ ОБРАЗЦОВ ПОЧВЫ С НЕНАРУШЕННОГО УЧАСТКА
Table 2. Results of background soil samples from a virgin area

№	Место отбора	Нитраты, мг/кг	Бенз(а)пирен, мг/кг	Нефтепродукты, мг/кг
	ПДК, мг/кг	130	0,02	Фон 100
1	Площадка КПУ	11,8	< 0,005	< 50
2	1-й км напорного нефтепровода L=1,157 км	10,6	< 0,005	< 50
3	По трассе напорного нефтепровода L=0,238 км	10,3	< 0,005	< 50
4	Площадка КПР	11,2	< 0,005	< 50
5	Площадка узла запорной арматуры №25	10,4	< 0,005	< 50
6	Площадка узла запорной арматуры №28	10,8	< 0,005	< 50
7	Площадка узла запорной арматуры №29	11,6	<0,005	<50
8	Площадка отвода	10,5	<0,005	<50
9	Площадка отвода	10,2	<0,005	<50

Таблица 3.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И pH В ПОЧВЕННЫХ
ОБРАЗЦАХ НА НЕНАРУШЕННОМ УЧАСТКЕ

Table 3. The content of heavy metals and pH in soil samples in a virgin
area

№ пробы	Место отбора проб	pH	Валовое содержание						
			Кадмий, мг/кг	Свинец, мг/кг	Цинк, мг/кг	Медь, мг/кг	Никель, мг/кг	Мышьяк, мг/кг	Ртуть, мг/кг
	ОДК pH <5,5 pH >5,5	—	1–2	65–130	110–220	66–132	40–80	5–10	—
	ПДК, мг/кг	—	—	32	—	—	—	2,0	2,1
1	КПУ	8,2	<0,10	4	35	<20	51	1,2	<0,02
2	1-й км напорного нефтепровода L=1,157 км	8,3	<0,10	5	36	<20	53	1,0	<0,02
3	напорного нефтепровода L=0,238 км	8,3	<0,10	4	34	<20	52	1,2	<0,02
4	КПР	8,3	<0,10	5	35	<20	51	1,2	<0,02
5	Площадка узла запорной арматуры №25	8,3	<0,10	4	35	<20	52	1,0	<0,02
6	Площадка узла запорной арматуры №28	8,3	<0,10	5	36	<20	54	1,0	<0,02
7	Площадка узла запорной арматуры №29	8,3	<0,10	4	37	<20	52	1,0	<0,02
8	Площадка отвода	8,3	<0,10	5	36	<20	54	0,99	<0,02
9	Площадка отвода	8,3	<0,10	4	34	<20	53	1,0	<0,02

На площадках отбора проб содержание рН колеблется от 8,2 до 8,3. Во всех пробах кадмий, свинец, цинк, медь и мышьяк не превышают ОДК, также свинец, мышьяк и ртуть не превышают ПДК. Содержание никеля, согласно ориентировочно допустимой концентрации (40–80), находится в данном диапазоне во всех пробах.

Руководствуясь принципам повторяемости, с участка за-

Таблица 4. СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ, БЕНЗ(А)ПИРЕНА, ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ ЗАГРЯЗНЕННОГО УЧАСТКА

№ пробы	Местоположение точки отбора пробы	Нитраты (по NO ₃), мг/кг	Бенз(а)пирен, мг/кг
	ОДК, мг/кг рН<5,5 рН>5,5	—	—
	ПДК, мг/кг	130	0,02
1	Площадка скважины № 117	<2,5	<0,004
2	Площадка АГЗУ-7 (ВРП-2)	<2,5	<0,004
3	1-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
4	2-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
5	3-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
6	4-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
7	5-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	0,0081
8	6-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
9	Площадка ВРП-1	<2,5	<0,004
10	1-й км трассы водовода от БКНС-7 до ВРП-1	<2,5	<0,004
11	2-й км трассы водовода от БКНС-7 до ВРП-1	<2,5	<0,004
12	Площадка БКНС-7	<2,5	<0,004

грязненного углеводородами проведена идентичная последовательность работ, полученные данные оформлены и представлены в виде таблицы (табл. 4).

Содержание нитратов во всех исследуемых образцах составляет менее 2,5 мг/кг. Показатели бенз(а)пирена во всех пробах не превышает ПДК (от менее 0,004 до 0,0081).

Table 4. The content of nitrates, benzene(a)pyrene, heavy metals and petroleum products in the soils of the contaminated site

	Валовое содержание							Нефтепродукты, мг/кг
	Свинец, мг/кг	Кадмий, мг/кг	Никель, мг/кг	Мышьяк, мг/кг	Ртуть, мг/кг	Цинк, мг/кг	Медь, мг/кг	
	65–130	1,0–2,0	40–80	5-10	—	110–220	66–132	Фон РФ 100
	32	—	—	—	2,1	—	—	—
	9,1	0,24	70,5	3,6	0,030	52,5	22,7	37,7
	7,8	0,23	50,5	1,9	0,030	40,5	25,4	31,2
	7,3	0,24	53,1	2,0	0,033	45,6	28,9	30,2
	7,5	0,20	51,4	4,0	0,030	33,8	21,0	31,5
	9,7	0,24	44,4	2,1	0,015	37,4	24,7	69,3
	14,4	0,20	46,0	6,3	0,025	27,5	15,4	611,1
	11,3	0,21	52,2	4,7	0,017	34,6	15,0	Более 950
	11,8	0,15	36,8	6,9	0,016	29,5	13,9	584,4
	10,7	0,26	60,5	4,5	0,007	37,1	26,1	99,1
	11,3	0,20	39,5	5,5	0,009	36,6	30,9	249,1
	11,9	0,22	42,8	4,2	0,010	29,5	22,9	135,7
	9,4	0,25	46,1	4,0	0,005	28,9	21,1	169,8

Валовое содержание свинца в пробах не превышает ОДК и ПДК. Валовое содержание кадмия не превышает ОДК. Валовое содержание никеля в 2 пробах не входит ОДК (8 и 10), а 10 из них варьируются от 40 до 80 мг/кг. Валовое содержание мышьяка в пробах № 6, № 8 и № 10 входит в ОДК от 5 до 10 мг/кг, остальные почвенные образцы имеют показатели менее 5 мг/кг. Сравнивая с ПДК (2,1 мг/кг) валовое содержание ртути, в пробах не выявлено превышение. Показатели меди не входят в диапазон значений ОДК (66–132 мг/кг) и варьируются от 13,9 мг/кг (проба № 8) до 30,9 мг/кг (проба № 10).

Содержание нефтепродуктов в почве (пахотный горизонт 0–30 см) превышает фоновые значения для почв Российской Федерации (100 мг/кг) в пробах № 6, № 7, № 8, № 10, № 11, № 12. Проба № 9 находится на грани превышения фонового образца (99,1 мг/кг). Остальные пробы (№ 1, № 2, № 3, № 4, № 5) содержат от 30,2 мг/кг до 69,3 мг/кг нефтепродуктов, что не является загрязнением. Пробы №№ 6–12 соответствуют уровню повышенного фона для почв РФ (100–500 мг/кг) [10].

Согласно схеме (рис. 1), почвенные образцы были отобраны в пределах двух геохимических ландшафтов, разделенных глубокими эрозионными образованиями: элювиального и супераквального.

Для дальнейшего анализа развития ситуации был использован классификатор барьеров Перельмана А.И., с помощью которого определены участки гипергенеза с набором геохимических барьеров: биогеохимических; физико-химических (восстановительных – сульфидных, глеевых, щелочных, испарительных, адсорбционных), в условиях горизонтального углеводородного барьера [15].

На представленном мезорельефе результатами лабораторных анализов проб почв микроэлементов подтверждено наличие природных геохимических барьеров и образование техногенных геохимических барьеров по классификации Перельмана.

Для выявления связей между содержанием тяжелых металлов, с выбранных участков, и устойчивостью углеводородных барьеров были построены графики показателей концентрации по участкам исследования (рис. 2–16).

Проведено определение содержания микроэлементов в нефти Оренбургского НГКМ. Выявлены следующие составляющие: алюминий Al (асфальтены) – 0,07 ppm, мкг/г, в смолах алюминий

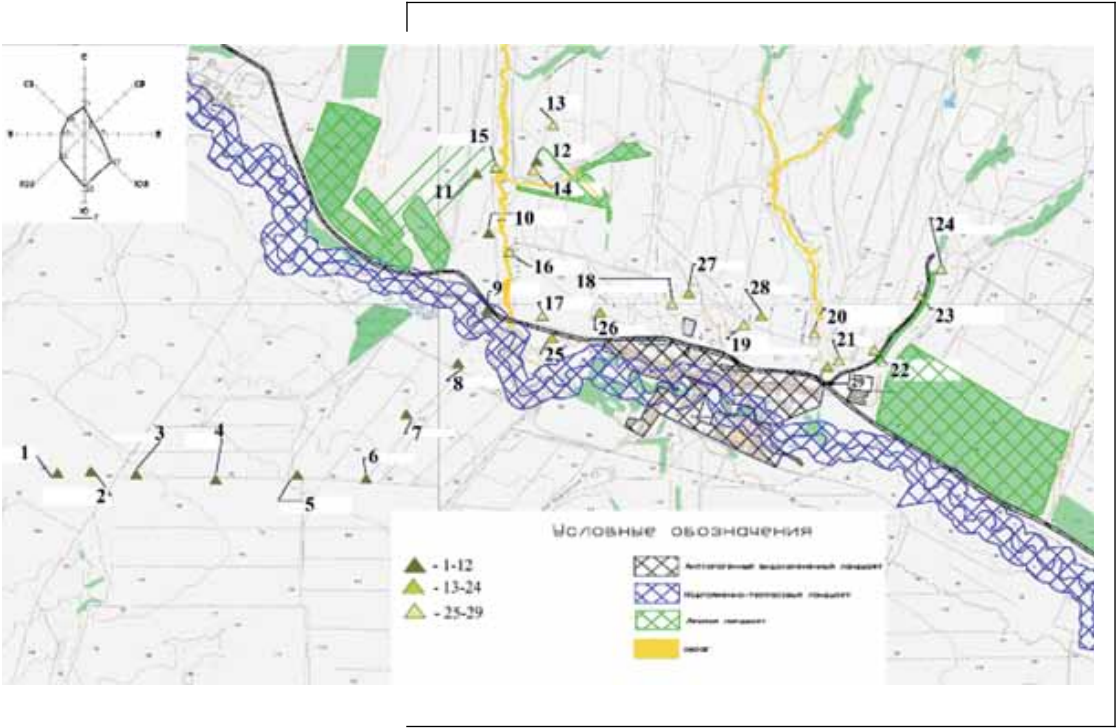


Рис. 1. Карта-схема исследуемого участка с точками отбора почвенных образцов.
Условные обозначения:
1–12 — пробы, отобранные в 2018 году;
13–24 — пробы, отобранные в 2019 году;
25–29 — пробы, отобранные в 2020 году.

Fig. 1. Schematic map of the study area with the points of sampling of soil samples.
Symbols:
1–12 — Samples taken in 2018;
13–24 — Samples taken in 2019;
25–29 — Samples taken in 2020.

не обнаружен, В (смолы) – 0,15 мкг/г, В (асфальтены) – 0,09 мкг/г, хром Cr (смолы) – 0,13 мкг/г, Cr (асфальтены) – 0,03 мкг/г, медь Cu (смолы) – 0,086 мкг/г, Cu (асфальтены) – 0,15 мкг/г, железо Fe (смолы) – 0,054 мкг/г, Fe (асфальтены) – 0,079 мкг/г, никель Ni (смолы) – 0,105 мкг/г, Ni (асфальтены) – 0,16 мкг/г, вольфрам V (смолы) – 0,55 мкг/г, V (асфальтены) – 5 мкг/г, цинк Zn (смолы) – 0,07 мкг/г, Zn (асфальтены) – 0,27 мкг/г.

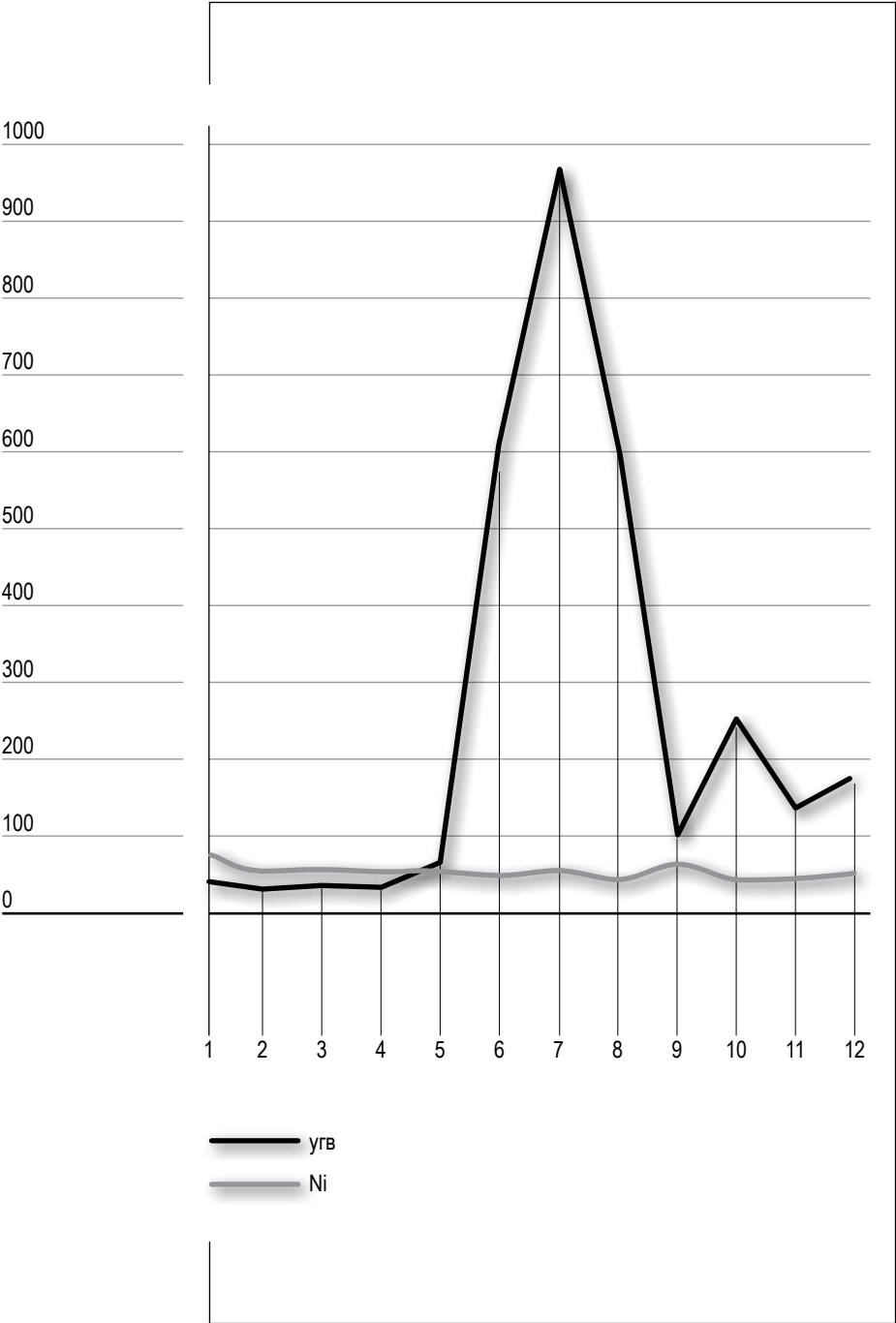


Рис. 2. Зависимость концентрации никеля (Ni) мг/кг от количества нефти.
Fig. 2. Dependence of nickel (Ni) concentration mg/kg on the amount of oil.

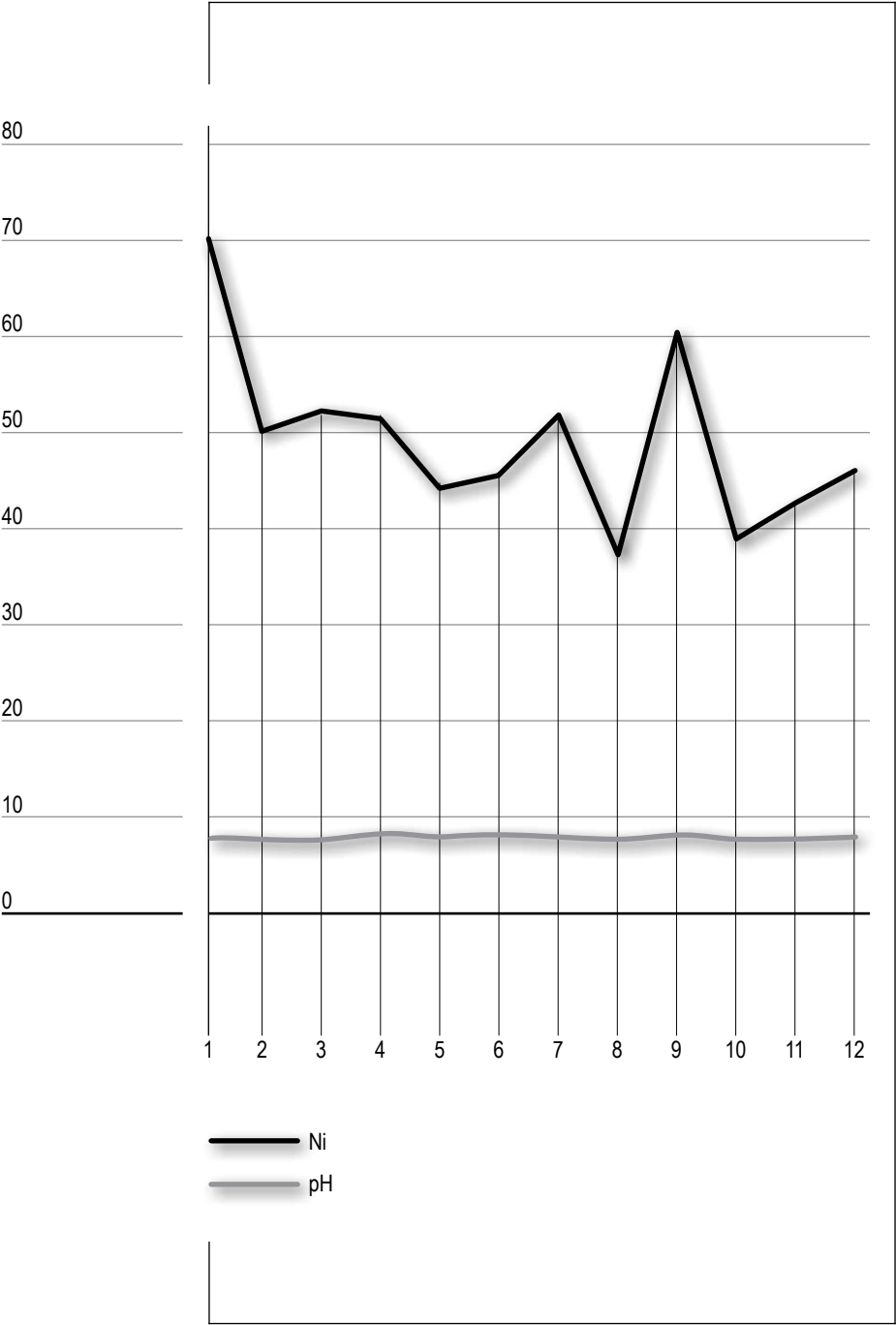


Рис. 3. Зависимость концентрации никеля (Ni) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 3. Dependence of nickel (Ni) mg/kg concentration on the hydrogen component (pH).

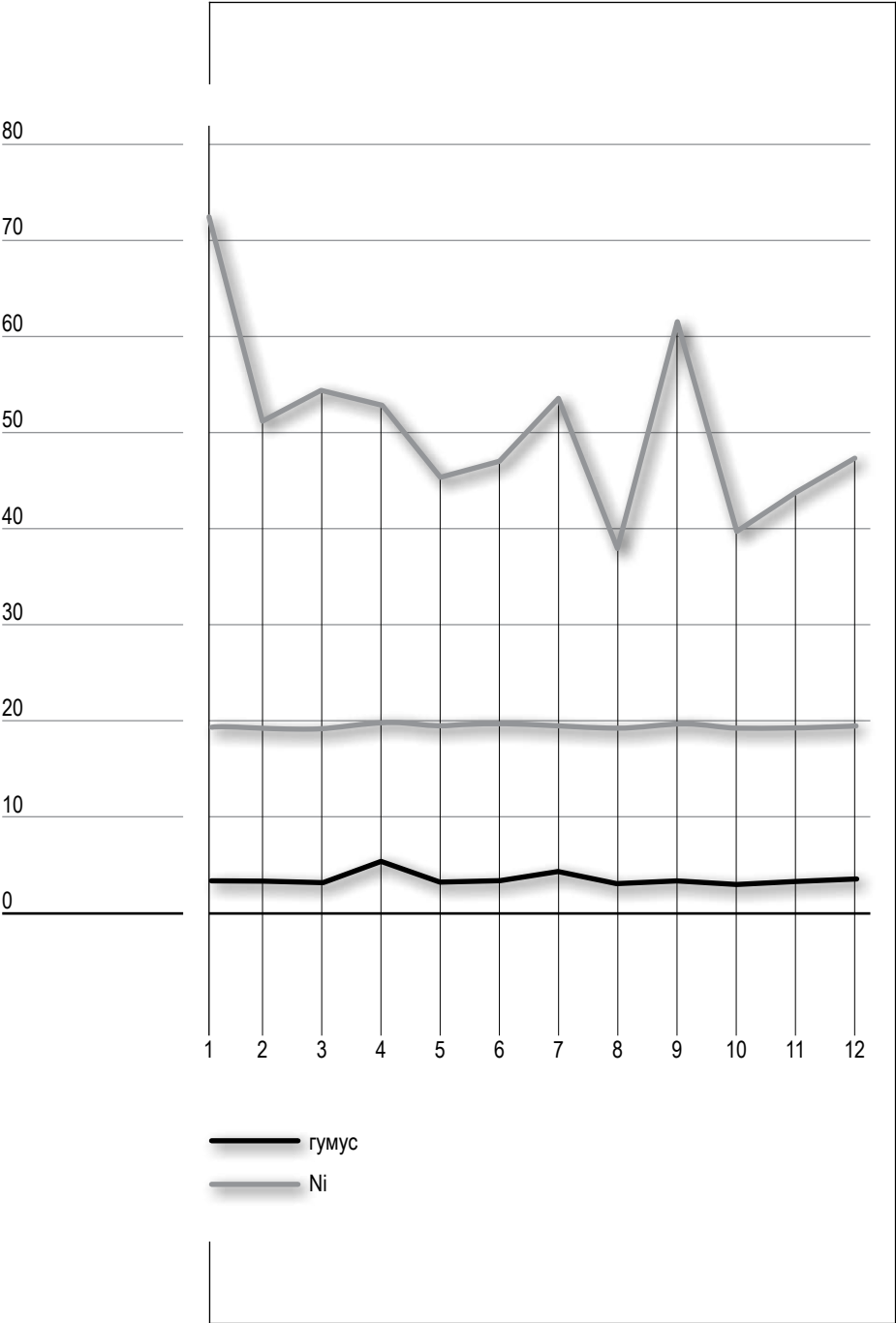


Рис. 4. Зависимость концентрации цинка (Ni) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 4. Dependence of the concentration of zinc (Ni) mg/kg on the humic component (humus).

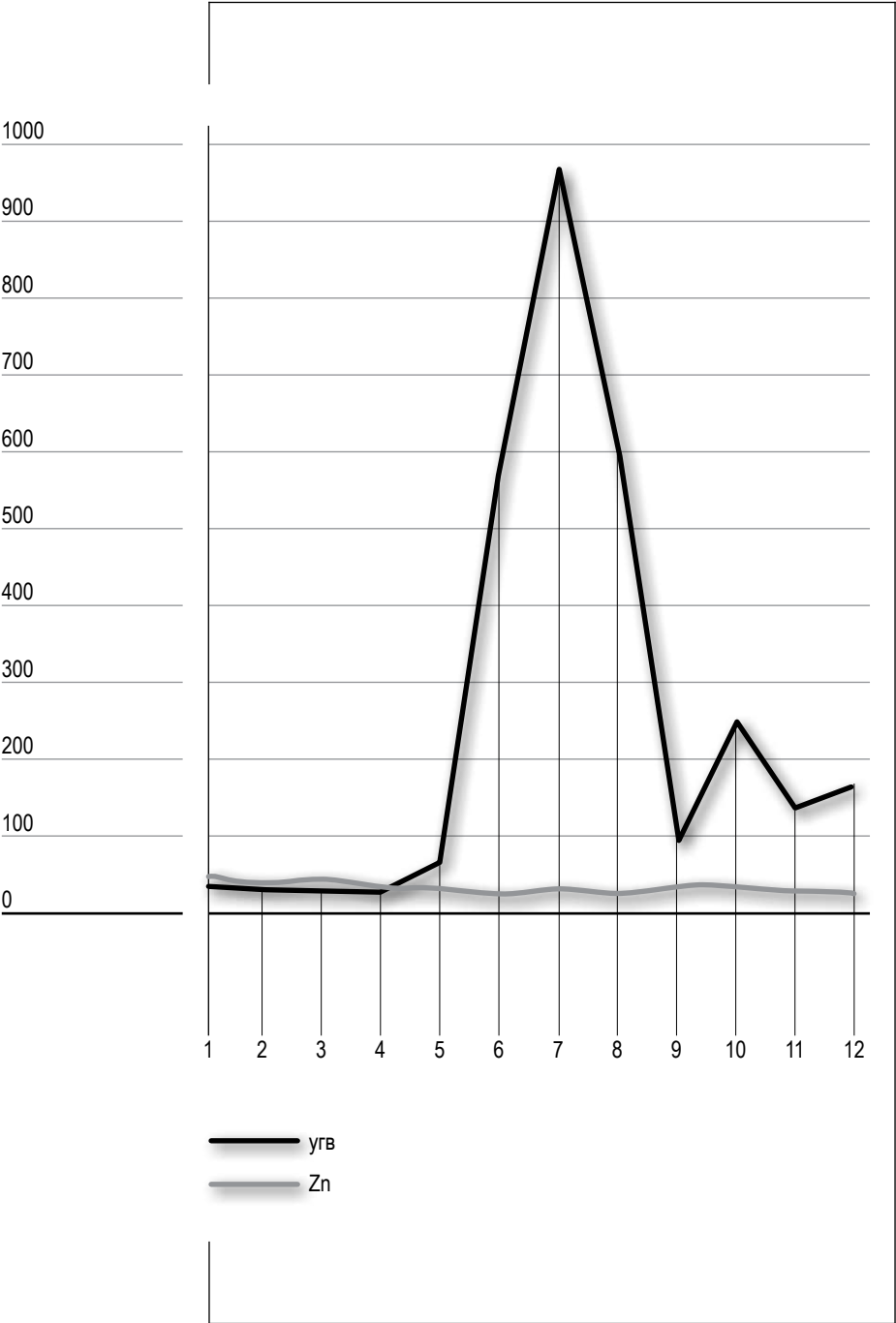


Рис. 5. Зависимость концентрации цинка (Zn) мг/кг от количества нефти.
Fig. 5. Dependence of the concentration of zinc (Zn) mg/kg on the amount of oil.

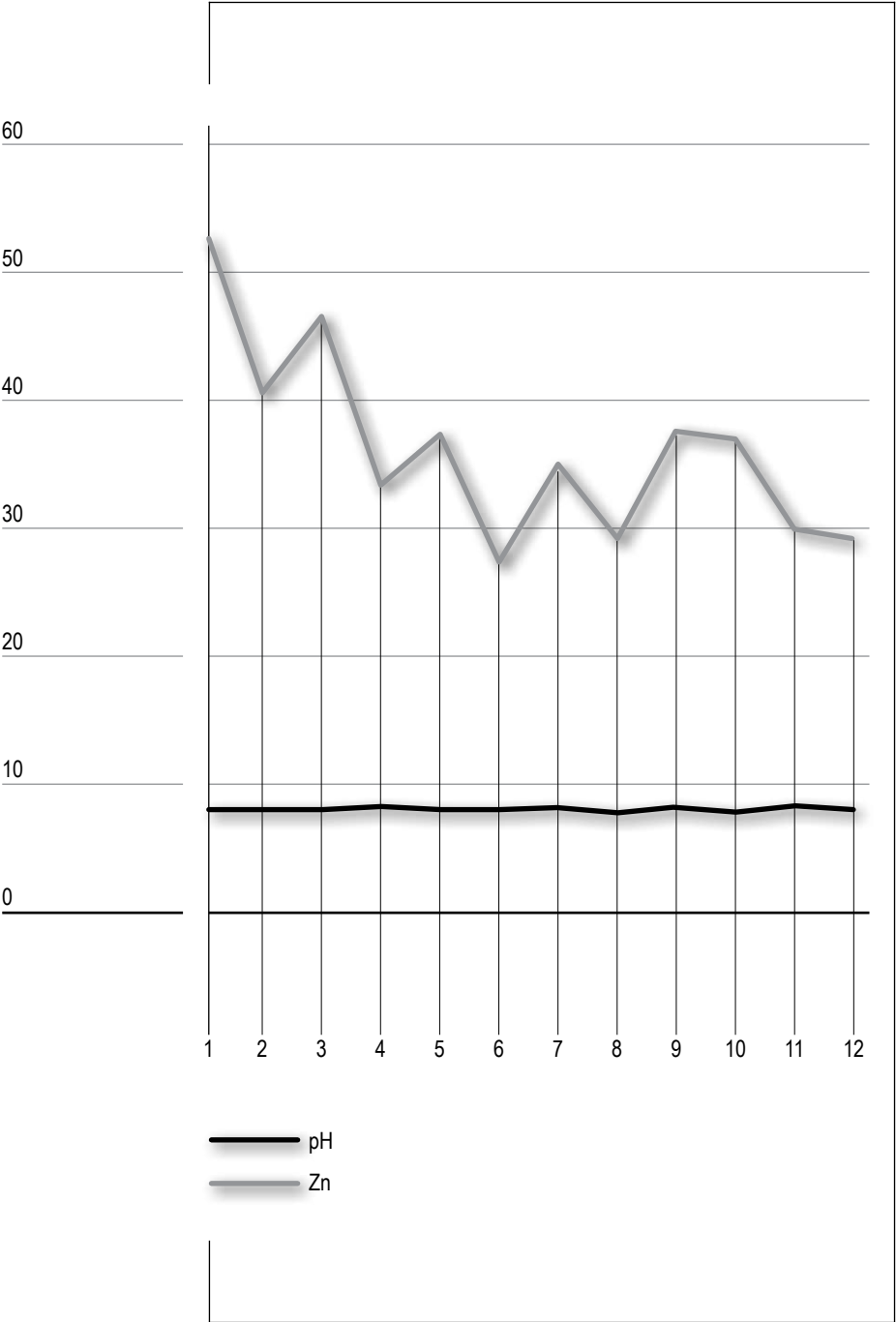


Рис. 6. Зависимость концентрации цинка (Zn) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 6. Dependence of zinc concentration (Zn) mg/kg on the hydrogen component (pH).

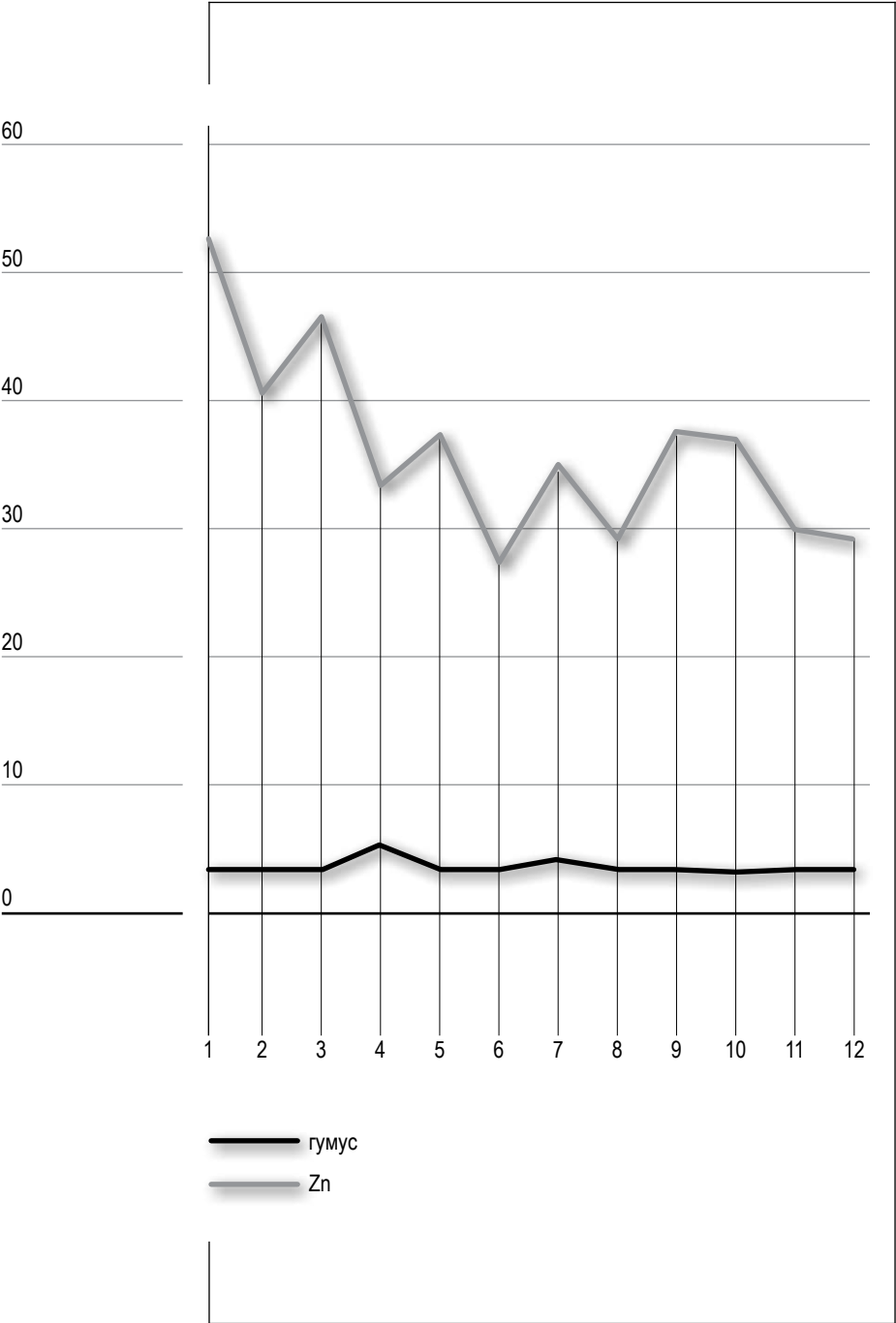


Рис. 7.

Зависимость концентрации цинка (Zn) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 7. Dependence of zinc concentration (Zn) mg/kg on the humic component (humus).

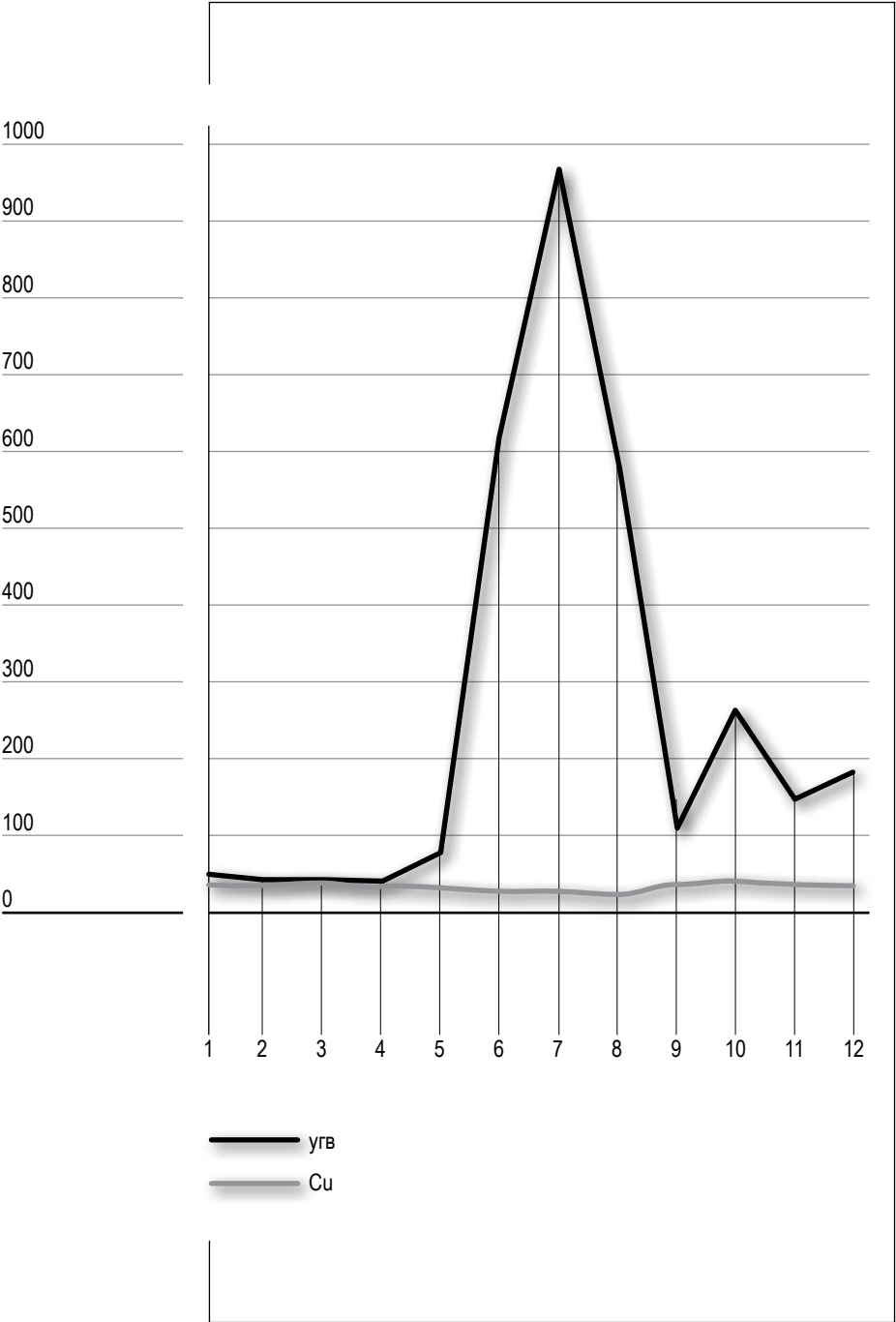


Рис. 8. Зависимость концентрации меди (Cu) мг/кг от количества нефти.
Fig. 8. Dependence of the concentration of copper (Cu) mg/kg on the amount of oil.

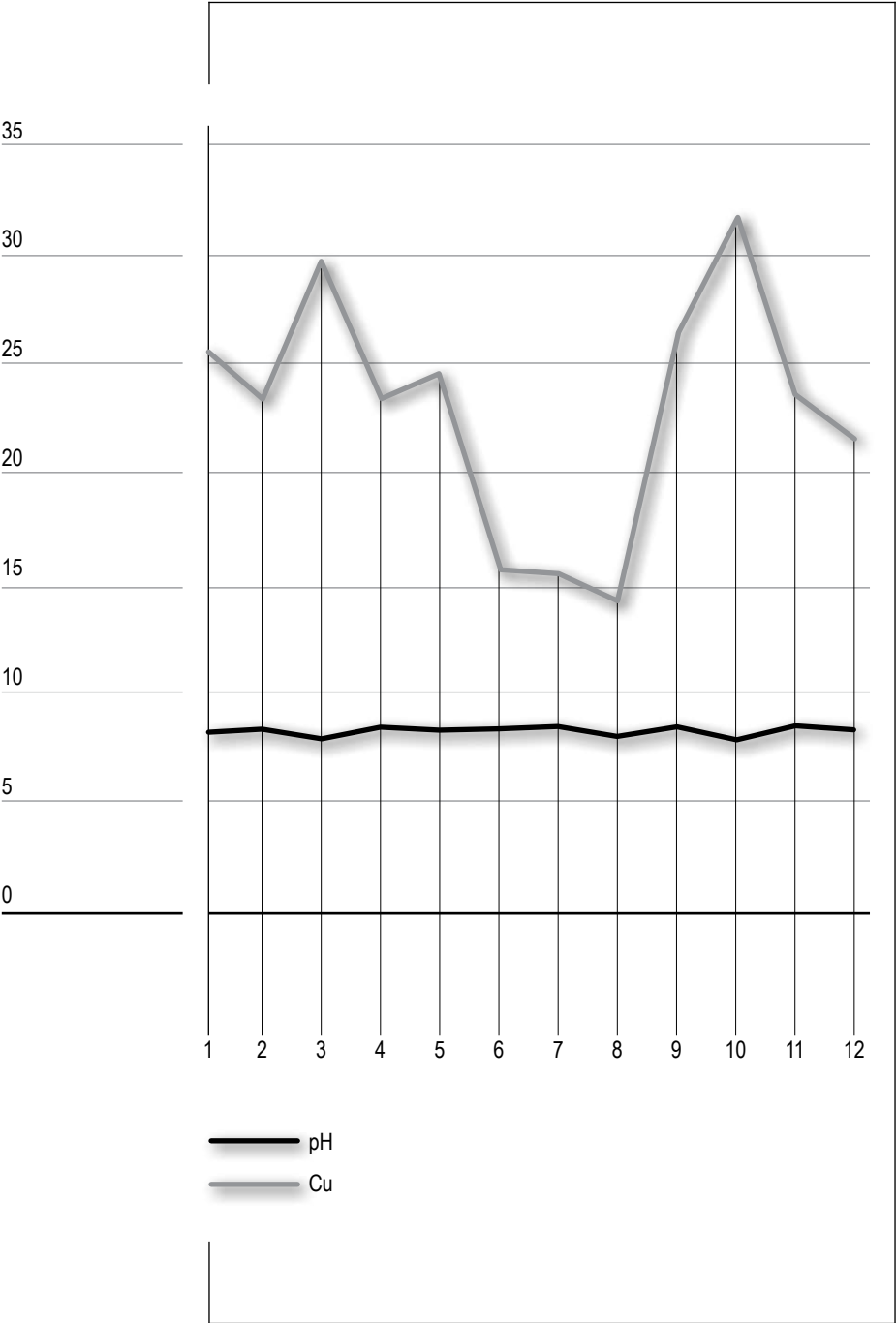


Рис. 9. Зависимость концентрации меди (Cu) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 9. Dependence of the concentration of copper (Cu) mg/kg on the hydrogen component (pH).

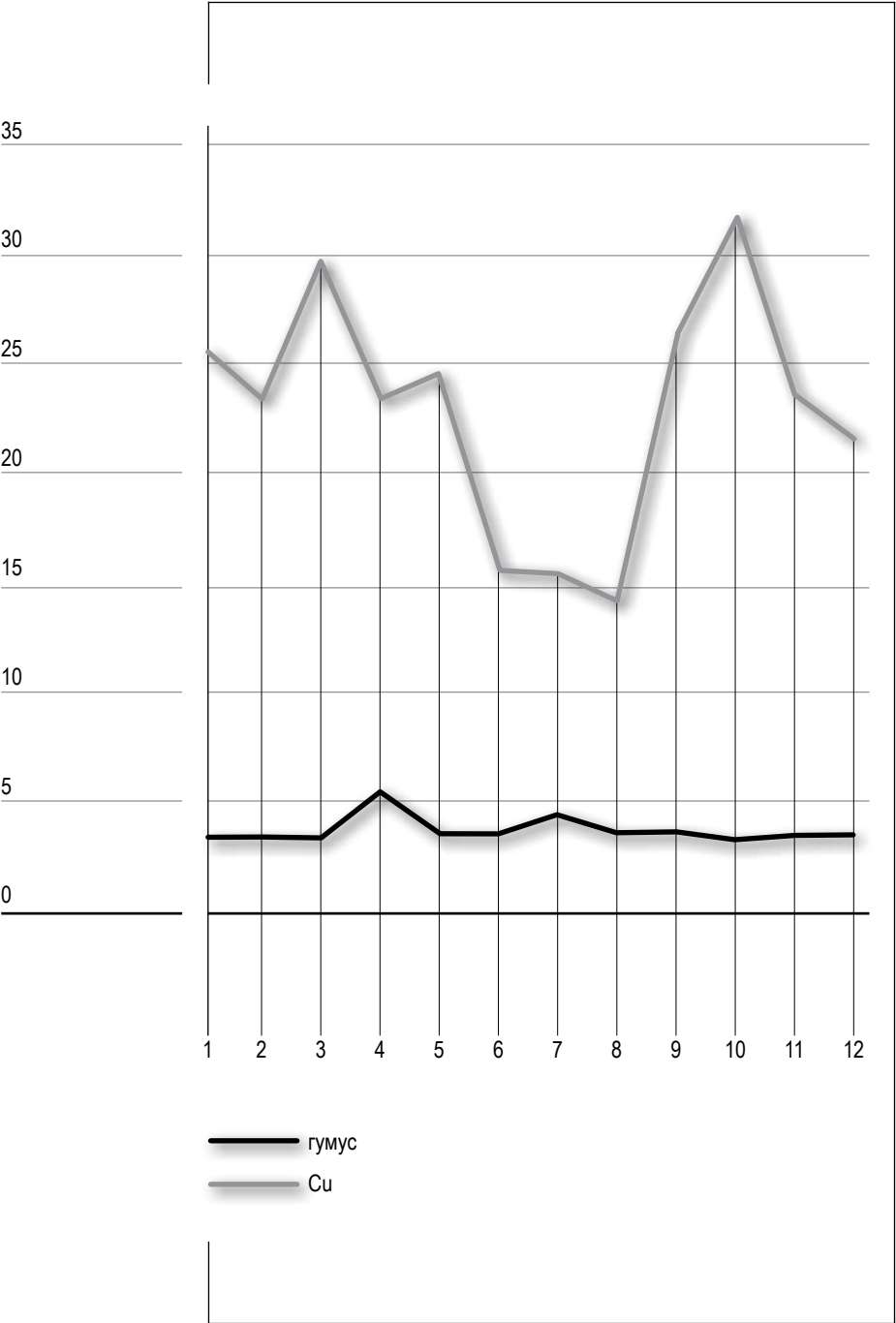


Рис. 10. Зависимость концентрации меди (Cu) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 10. Dependence of the concentration of copper (Cu) mg/kg on the humic component (humus).

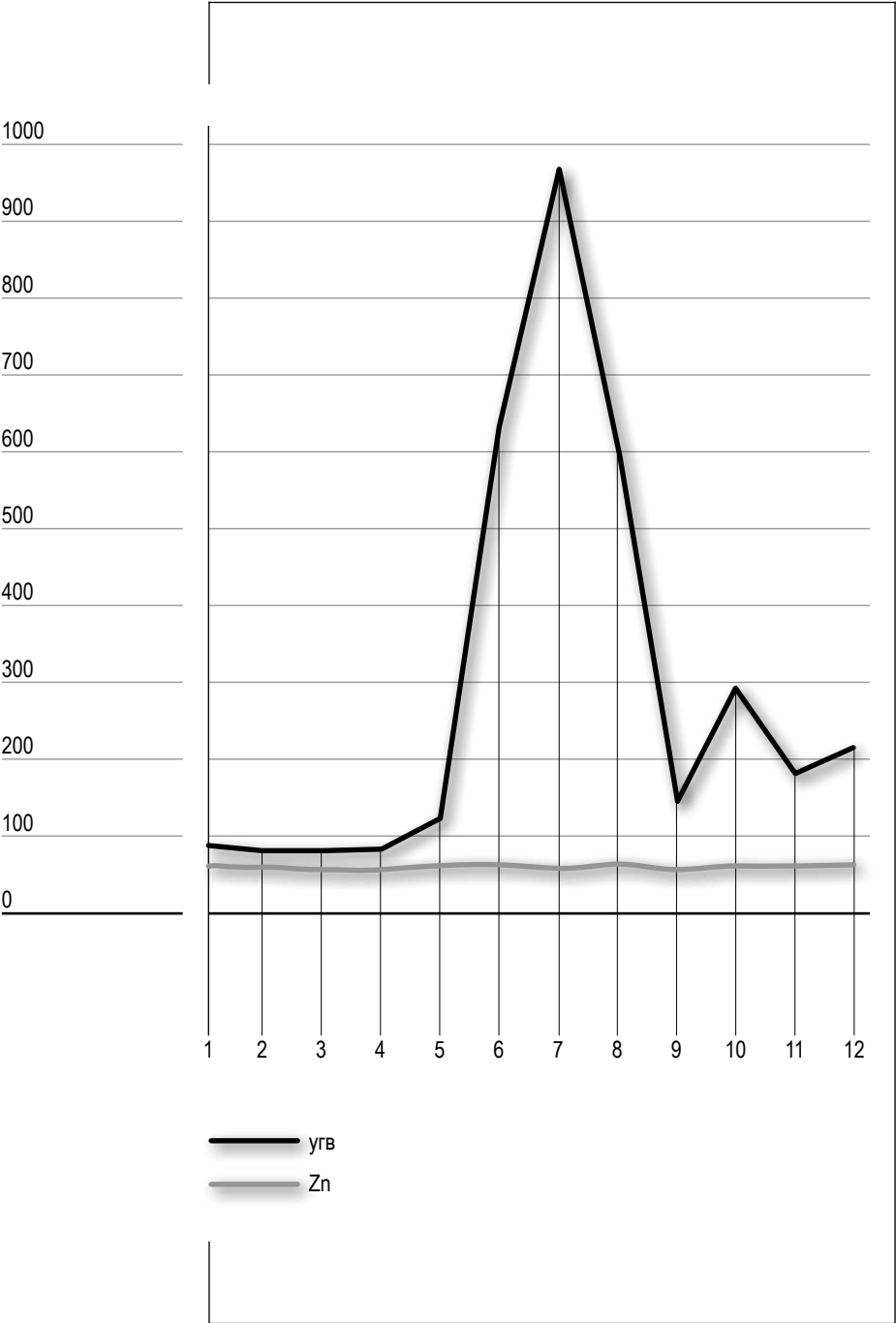


Рис. 11. Зависимость концентрации свинца (Pb) мг/кг от количества нефти.
Fig. 11. Dependence of the concentration of lead (Pb) mg/kg on the amount of oil.

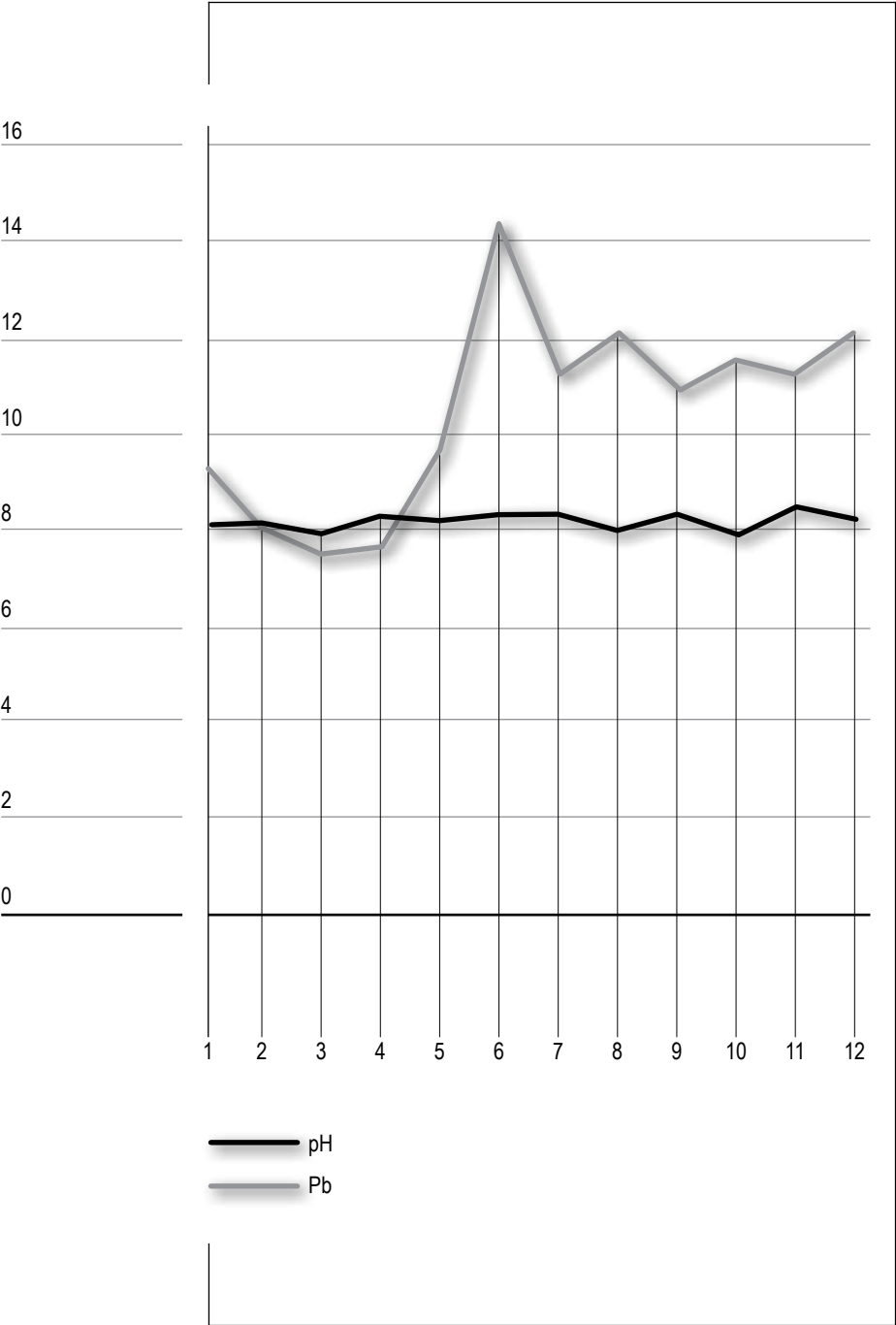


Рис. 12. Зависимость концентрации свинца (Pb) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 12. Dependence of the concentration of lead (Pb) mg/kg on the hydrogen component (pH).

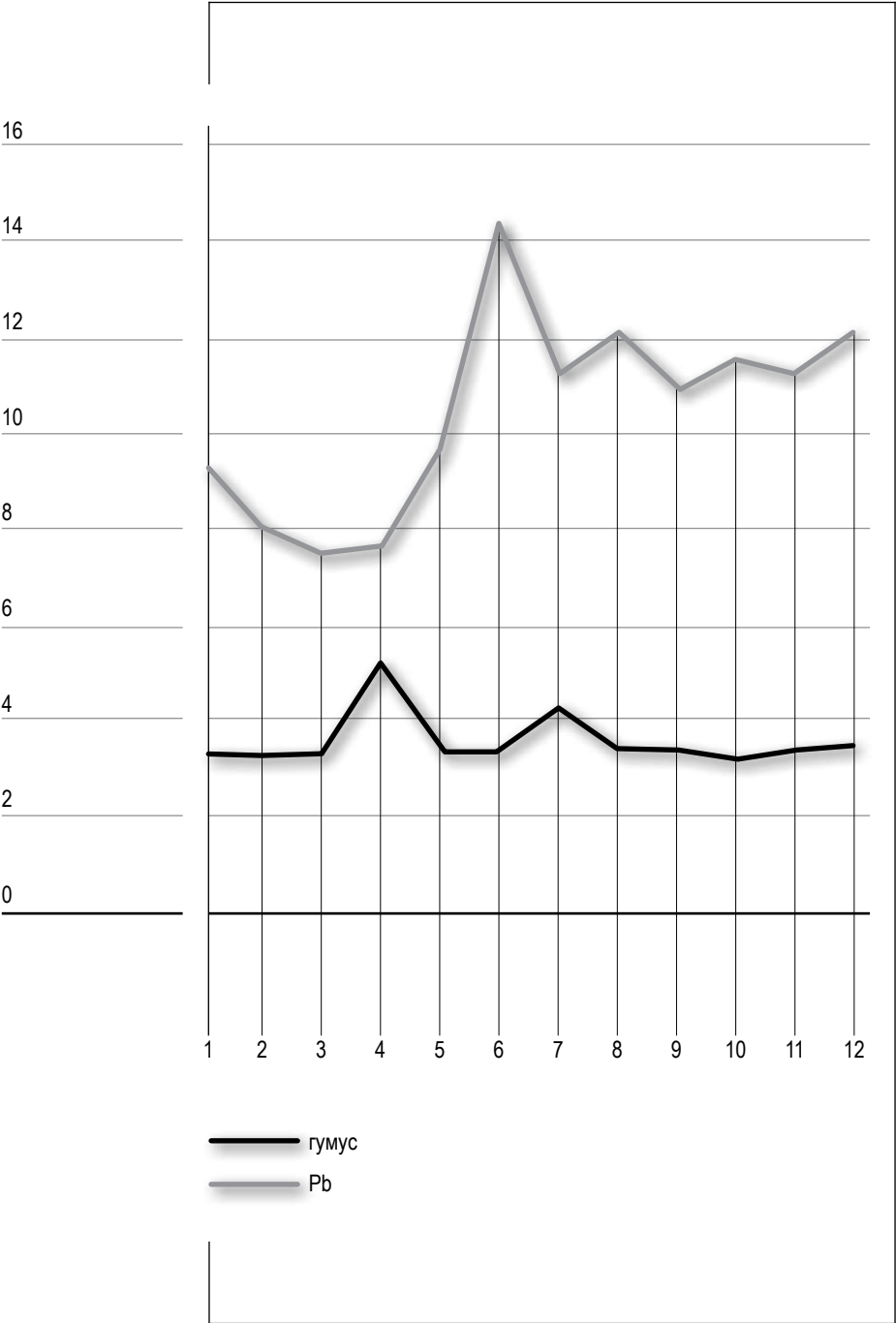


Рис. 13. Зависимость концентрации свинца (Pb) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 13. Dependence of the concentration of lead (Pb) mg/kg on the humic component (humus).

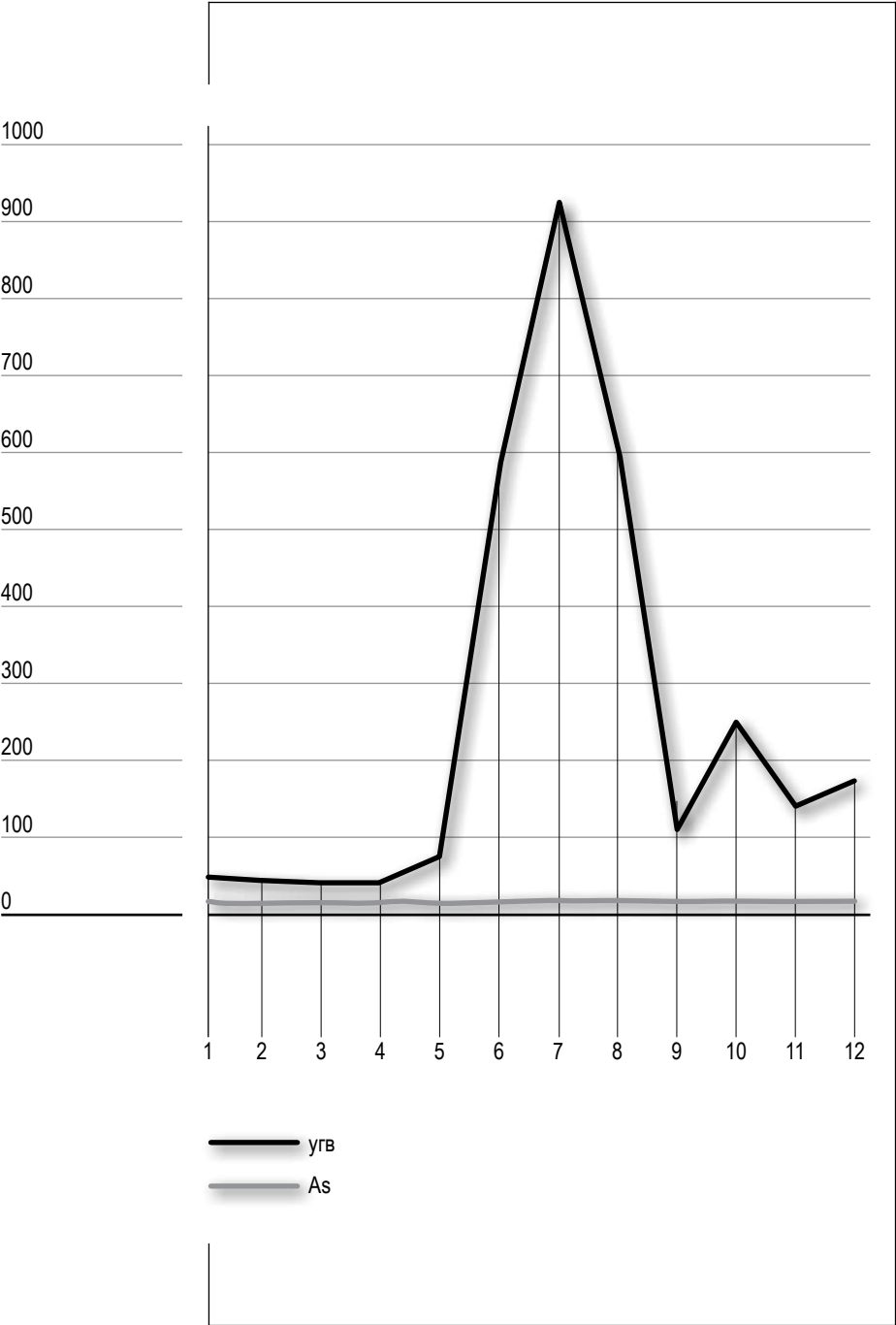


Рис. 14. Зависимость концентрации мышьяка (As) мг/кг от количества нефти.
Fig. 14. Dependence of the concentration of arsenic (As) mg/kg on the amount of oil.

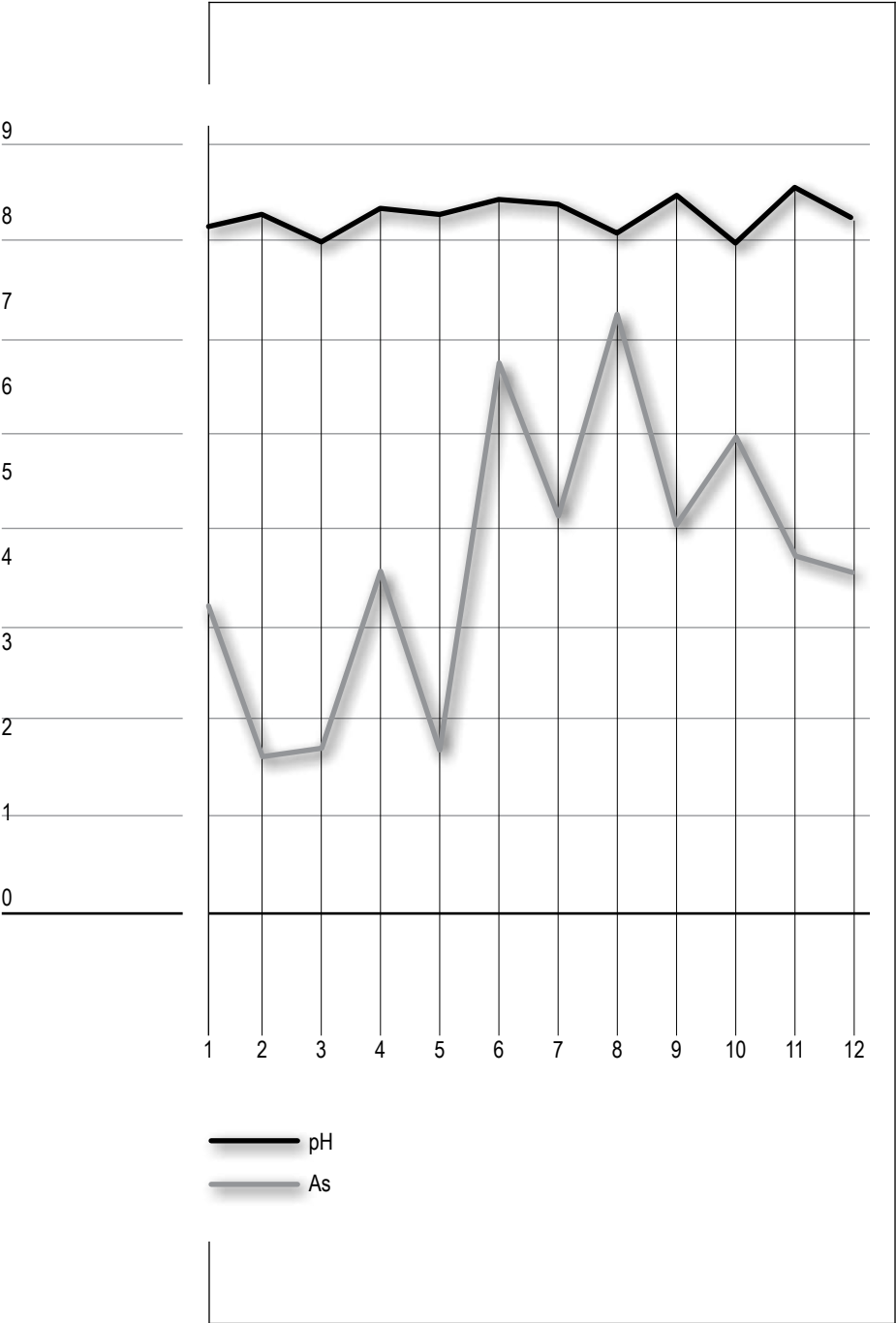


Рис. 15. Зависимость концентрации мышьяка (As) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 15. Dependence of the concentration of arsenic (As) mg/kg on the hydrogen component (pH).

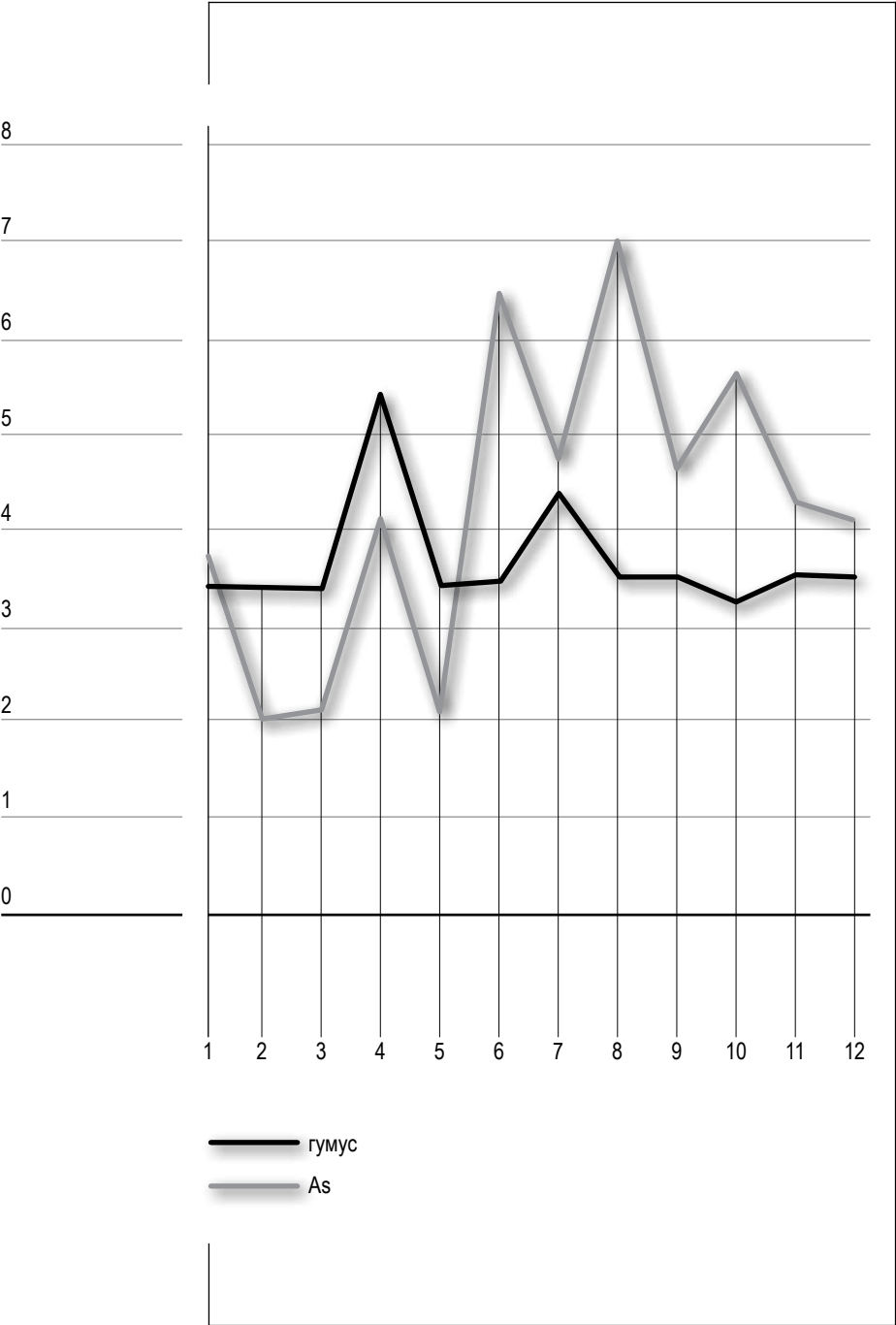


Рис. 16. Зависимость концентрации мышьяка (As) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 16. Dependence of the concentration of arsenic (As) mg/kg on the humic component (humus).

На участке, имеющем первичные признаки загрязнений, выявлено наличие темных пятен маслянистого типа с характерным запахом нефти. Проведено шурфление и отбор проб почв, в результате исследования подтверждено просачивание нефти до глубины 3 м. Максимальное содержание углеводов на глубине 1 м составило 68 мг/кг. В почвенном слое участка работ 2019 года, содержание углеводорода (от точки 13 до точки 17) в пределах 30 мг/кг, от точки 18 до точки 24 содержание от 69 мг/кг до 950 мг/кг. Данное распределение связано с естественной миграцией поллютанта и понижением рельефа урочища реки Бобровка в комплексе с техногенным барьером – дорожной артерией. По пробам почв в точках 20–22 ширина загрязнения составляет 200 метров. Необходимо определить площадь загрязнения или сформированного углеводородного геохимического барьера, что позволит выявить прямую закономерность влияния загрязнения нефтью на увеличение содержания тяжелых металлов.

На исследуемом участке элювиальных отложений суглинистой почвообразующей основы, водородный показатель принимает значения в 7–8 pH, что соответствует нейтральной среде. Это свидетельствует о создании цепей из устойчивых геохимических барьеров с ограничением доступа осадков в поровое пространство почв. На основании результатов анализа, а также накопленного ранее научного материала, растворение поллютантов происходит в почве при снижении pH, но в проведенном исследовании этого не наблюдается.

О возможном распространении барьеров свидетельствуют вторичные признаки загрязнения ландшафта (изменение окраса растительности от зеленому к желтому, наличие запаха углеводорода, увеличение разреженности растительного покрова). Геохимический барьер, сформированный тяжелыми металлами, выше углеводородного барьера, что ведёт к расширению общего физико-химического барьера, из чего можно сделать вывод, что чем дольше не ликвидировать углеводородный барьер, тем обширней будут последствия от расширения естественных барьеров.

Заключение

Почвообразующими породами для формирования почв исследуемого участка, в результате литогенеза, стали делюви-

альные глины и суглинки. На данный момент отмечено отсутствие дернового слоя, в виде сплошного почвенно-растительного слоя, ввиду высокой разреженности травостоя. Почвенно-растительный слой нарушается в результате сельскохозяйственной деятельности, распашки полей и отсутствию восстановительных работ на ранее эксплуатированных участках. На исследуемой территории травостой типчаково-ковыльных степей низкий и разреженный. В весенний период образованная растениями биомасса высыхает и истлевает под действием солнца, не участвуя в почвообразовательных процессах. Лесные посадки занимают не более 15 % территории, что ведет к снижению устойчивости ландшафта, развитию процессов опустынивания и эрозии.

Оценка способности южных черноземов захватывать и удерживать тяжелые металлы в условиях углеводородного загрязнения представляется возможной благодаря сформированному углеводородному барьеру, сформированному в результате просачивания нефти в почву на глубину до 3 метров. Ширина барьера определялась на участке максимальных значений насыщений нефтепродуктами и составила порядка 200 метров.

Попытки установления зависимостей миграции тяжелых металлов от степени загрязнения углеводородами привели к выявлению устойчивой зависимости свинца, а также роста величины его содержания, от степени насыщения почв нефтью. Содержание остальных микроэлементов пропорционально наибольшему распространению техногенного барьера по территории.

В пробах почвы не обнаружено загрязнение бенз(а)пиреном (от менее 0,004 до 0,0081).

Содержание нефтепродуктов в почве в шести пробах превышает фоновое значение для РФ; в пробе № 9 нефтепродукты находятся на грани превышения, а пробы №№ 1–5 не содержат загрязнения.

Содержание тяжелых металлов в почвенных образцах не превышает ПДК и ОДК, что свидетельствует об отсутствии загрязнения исследуемых участков.

Результаты исследований и наблюдений указывают на необходимость проведения рекультивационных работ, а именно техни-

ческого и биологического этапа с соблюдением охраны окружающей среды.

Цель технического этапа рекультивации – подготовка нарушенных земель для их дальнейшей обработки и последующей биологической рекультивации.

Биологический этап направлен на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы. Предлагается осуществить биоремедиацию почвы, внести биопрепараты, подготовить почву для высадки сидератов (зеленых удобрений), залужение. После проведенных мероприятий по восстановлению от нефтепродуктов, участок можно будет использовать по целевому назначению и разрешенному использованию. Рекультивационные мероприятия должны быть направлены на приведение территории в состояние, пригодное для её использования.

В результате проделанной работы предельно допустимая концентрация тяжелых металлов, установленная законодательством, не в полной мере отражает состояние почвенного покрова. Предложенная комплексная характеристика ландшафта может дать понимание реального положения экологической ситуации. Создание тематической карты позволит сформировать общую картину состояния почв района, субъекта. Рекомендуется ввести понижающий коэффициент на предельно допустимую концентрацию тяжелых металлов от площади загрязнения или техногенного влияния.

Список источников

1. Ганжара Н. Ф. Почвоведение. М.: Агроконсалт, 2001. С. 392.
2. Еремченко О. З., Москвина Н. В. Экология почв. Практические задания: учебно-методическое пособие / Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные. Пермь, 2022. С. 88.
3. Александрова Л. Н. Гумус как система полимерных соединений. Тр. юбилейной сессии, посв. 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева. М.: Изд. АН СССР, 1949. С. 105–110.
4. Прокофьева Т. В., Герасимова М. И., Безуглова О. С., Бахматова К. А., Гольева А. А., Горбов С. Н., Жарикова Е. А., Матинян Н. Н., Наквасина Е. Н., Сивцева Н. Е. Введение почв и почвоподобных образований в классификацию

- почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
<http://doi.org/10.7868/S0032180X14100104>
5. Хитров Н. Б. Представление об устойчивости почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы докладов Всероссийской конференции, посвященной 75-летию Почвенного института им. В. В. Докучаева (Москва, 24–25 апреля 2002 года). М.: Почвенный институт имени В. В. Докучаева, 2002. 489 с.
 6. Воробейчик Е. Л. Устойчивость почвы и индикаторы оценки устойчивости почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы доклада Всерос. конф. (25 апреля 2002 г.). М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева, 2002. 489 с.
 7. Воробейчик Е. Л., Катаков С. С., Кайгородова С. Ю. Устойчивость почвы и индикаторы оценки устойчивости почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы доклада Всерос. конф. (25 апреля 2002 г.). М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева, 2002. 489 с.
 8. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. С. 15.
 9. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. С. 10.
 10. Ежегодник загрязнения почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения. Обнинск: ГУ ВНИ-ИГМИ-МЦД, 2015. С. 1–112.
 11. ГОСТ 17.4.3.01-83. Общие требования к отбору проб. Охрана природы. Почвы: Сб. ГОСТов. М.: Стандартиформ, 2008. С. 1–5.
 12. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гос-санэпиднадзора Минздрава России, 2004. С. 1–9.
 13. ГОСТ 17.5.4.02-84. Рекультивация земель. Метод измерения и расчет суммы токсичных солей во вскрышных и вмещающих породах Охрана природы. Земли: Сб. ГОСТов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. С. 1–11.

14. Письмо Минприроды РФ № 04-25, Роскомзема N 61-5678 от 27.12.1993 О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. С. 1–21.
15. Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды: учебное пособие / Перм. гос. ун-т. Пермь. 2011. С. 248.

References

1. Ganzhara NF. Soil science. M.: Agroconsult; 2001. 392 p. (In Russ.).
2. Eremchenko OZ, Moskvina NV. Soil ecology. Practical tasks: an educational and methodical manual. Perm State National Research University. Electronic data. Perm; 2022. P. 88. (In Russ.).
3. Alexandrova LN. Humus as a system of polymer compounds. Tr. of the jubilee session dedicated to the 100th anniversary of the birth of BV Dokuchaev. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1949. P. 105–110. (In Russ.).
4. Prokofieva TV, Gerasimova MI, Bezuglova OS, Bakhmatova KA, Goleva AA, Gorbov SN, Zharikova EA, Matinyan NN, Nakvasina EN, Sivtseva NE. Introduction of soils and soil-like formations into the classification of soils in Russia. Soil science. 2014;(10):1155-1164. <http://doi.org/10.7868/S0032180X14100104> (In Russ.).
5. Khitrov NB. The idea of soil resistance to external influences. In Soil resistance to natural and anthropogenic influences: Abstracts of the All-Russian conference dedicated to the 75th anniversary of the VV Dokuchaev Soil Institute, Moscow, April 24–25, 2002. Moscow: VV Dokuchaev Soil Institute; 2002. 489 p. (In Russ.).
6. Vorobeychik EL. Soil stability and indicators for assessing soil resistance to external influences. In Soil resistance to natural and anthropogenic influences: Abstracts of the report of the All-Russian Conference on April 25, 2002. Moscow: Publishing House of the VV Dokuchaev Soil Institute; 2002. 489 p. (In Russ.).
7. Vorobeychik EL, Katkov SS, Kaigorodova SYu. Soil stability and indicators for assessing soil resistance to external influences. In Soil resistance to natural and anthropogenic influences: Abstracts of the report of the All-Russian Conference on April 25, 2002. Moscow: Publishing House of the VV Dokuchaev Soil Institute; 2002. 489 p. (In Russ.).

8. Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in soil: Hygienic standards. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2006. P. 15. (In Russ.).
9. Approximate permissible concentrations (APCs) of chemicals in soil: Hygienic standards. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2009. P. 10. (In Russ.).
10. Yearbook of soil pollution of the Russian Federation with toxicants of industrial origin. Obninsk: GU VNIIGMI-MCD; 2015. P. 1-112. (In Russ.).
11. GOST 17.4.3.01-83. General requirements for sampling. Nature protection. Soils: Collection of GOST standards. M.: Standartinform; 2008. P. 1–5. (In Russ.).
12. SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological requirements for soil quality: Sanitary and epidemiological rules and regulations. Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of the Russian Federation; 2004. P. 1–9. (In Russ.).
13. GOST 17.5.4.02-84. Land reclamation. Method of measuring and calculating the amount of toxic salts in overburden and host rocks Nature Conservation. Lands: Sat. GOSTov. M.: IPK Publishing House of Standards; 2002. P. 1–11. (In Russ.).
14. Letter of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 04–25, Roskomzema No. 61-5678 dated 12/27/1993 On the procedure for determining the amount of damage from land pollution with chemicals. P. 1–21. (In Russ.).
15. Maksimovich NG, Khairullina EA. Geochemical barriers and environmental protection: studies. stipend. Perm State University. Perm; 2011. P. 248. (In Russ.).

Информация об авторе

Сергей Александрович Сидоренко – аспирант 4 года заочной формы обучения кафедры физической географии и кадастров высшей школы географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета, Researcher ID: JZC-8833-2024

Information about the author

Sergey A. Sidorenko – fourth-year PhD student of distance education, Department of Physical Geography and Cadastre, Higher School of Geography and Geoinformatics, North-Caucasus Federal University, Researcher ID: JZC-8833-2024