

УДК 631.438
DOI: 10.7868/S25000640210106

ОПЫТ ЛАНДШАФТНО-БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПОЧВ АЗЕРБАЙДЖАНА ПО ПОТЕНЦИАЛУ САМООЧИЩЕНИЯ ОТ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

© 2021 г. Н.М. Исмаилов¹, С.И. Наджафова¹

Аннотация. Методами системного сопряженного анализа абиогенных и биогенных факторов оценен потенциал самоочищения и устойчивость почв и основных кадастровых районов Азербайджана на примере загрязнения веществами органической природы – нефтяными углеводородами – с использованием предлагаемой формулы почвенно-биоэкологического индекса. Показана закономерность актуальной устойчивости почв к загрязнениям при продвижении с востока на запад на территории страны. В противоположном направлении растет потенциальная опасность накопления поллютантов в почвах в связи со снижением устойчивости почв к загрязнению. Устойчивость почв кадастровых районов к загрязнению в сравнительном плане не одинакова. Губа-Хачмазский, Лянкаран-Астаринский, Кяльбаджар-Губадлинский и др. кадастровые районы характеризуются сравнительно высокой актуальной устойчивостью и способностью к самоочищению по сравнению с Апшеронским районом и территорией Нахичеванской Автономной Республики. Потенциал самоочищения территории Азербайджана в целом достаточно высок – около 87 % земель характеризуется достаточной степенью устойчивости к загрязнениям.

Предлагаемый подход дает возможность разрабатывать карты районирования территории Азербайджана по характеру потенциальных изменений природных ландшафтов при их загрязнении и своевременно планировать мероприятия по их восстановлению. Положительная корреляция между оценочными баллами и микробиологическими показателями почв демонстрирует, что экологические шкалы могут быть использованы для предварительного районирования ландшафтов Азербайджана, в том числе почвенного покрова, по их потенциалу самоочищения. Картограмма бонитета почв Азербайджана в первом приближении может быть использована для разработки картограмм показателей устойчивости почв в отношении к загрязняющим веществам различной природы.

Ключевые слова: почвы, загрязнение, самоочищение, абиогенные и биогенные факторы, сопряженный анализ, баллы бонитета, кадастровые районы, районирование почв, Азербайджан.

EXPERIENCE OF LANDSCAPE AND BIOGEOCHEMICAL ZONING OF SOILS IN AZERBAIJAN ON THE POTENTIAL OF SELF-PURIFICATION FROM POLLUTANTS

N.M. Ismailov¹, S.I. Nadjafova¹

Abstract. The potential of self-purification and the resistance of soils and the main cadastral areas of Azerbaijan on the example of pollution with substances of organic nature-petroleum hydrocarbons, using the proposed formula of the soil-bioecological index, were evaluated using the methods of systematic conjugate analysis of abiogenic and biogenic factors.

The regularity of increasing the intensity of decomposition of pollutants when moving from the East to the West on the territory of the country is shown. In the opposite direction, the potential risk of accumulation of pollutants in soils is increasing due to a decrease in soil resistance to pollution. The soil resistance to pollution in cadastral areas is not the same in comparison. Guba-Khachmaz, Lankaran-Astara, Kalbajar-Gubadli, etc.

¹ Институт микробиологии Национальной академии наук Азербайджана (Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan), Азербайджан, AZ 1007, г. Баку, Патамдартское шоссе, 40, e-mail: ismaylovn@mail.ru, nadjafovas@aol.com

cadastral areas in general are characterized by a relatively high current stability and self-cleaning ability compared to the Absheron region and the territory of the Nakhchivan Autonomous Republic. The potential for self-cleaning of the territory of Azerbaijan as a whole is quite high – about 87 % of its territory is sufficiently resistant to pollution. The proposed approach makes it possible to develop zoning maps of the territory of Azerbaijan based on the nature of potential changes in natural landscapes when they are polluted and timely plan the measures for their restoration.

The positive correlation between the assessment scores and soil microbiological indicators shows that ecological scales can be used for preliminary zoning of Azerbaijan landscapes, including the soil cover, according to their self-cleaning potential. As a first approximation, the cartogram of soil bonitet in Azerbaijan can be used to develop cartograms of soil stability indicators in relation to pollutants of various nature.

Keywords: soils, pollution, self-cleaning, abiogenic and biogenic factors, conjugate analysis, bonitet scores, cadastral areas, zoning of soils, Azerbaijan.

ВВЕДЕНИЕ

Добыча, транспортировка, переработка нефти и использование нефтепродуктов могут сопровождаться технологическими выбросами их во внешнюю среду, способствуя загрязнению и нарушению структуры и функций экосистем различной интенсивности, вплоть до экологических катастроф [1]. Магистральные трубопроводы в различных регионах мира проходят по разным почвенно-климатическим зонам. К сожалению, во всех проектах оценки воздействия на окружающую и социальную среду, которые разрабатывались для этих трубопроводов, отсутствуют разделы, которые отражали бы способность почв к самоочищению в случае разливов нефти и нефтепродуктов [2]. То же можно сказать и о загрязнении природных ландшафтов, почв и водных экосистем при использовании широкого спектра химических препаратов в агрохозяйствах – пестицидов, гербицидов и др., – для которых характерна разная степень биодegradабельности [3].

Рядом авторов сформулировано положение об основных этапах процесса естественной деградации нефти, пестицидов и других органических соединений в почве, которые показывают закономерную последовательность изменений свойств органических загрязнений во времени и свидетельствуют о потенциале самоочищения почвенного покрова [4]. Это теоретическое положение достаточно обосновано и практически подтверждено многочисленными лабораторными и полевыми исследованиями [5]. Чем выше самоочищающая способность почв, тем скорее пойдет процесс их восстановления при одинаковом модуле техногенной нагрузки и составе загрязняющих веществ, тем большую техногенную нагрузку они способны выдержать. От потенциала самоочищения зависят

допустимое содержание в почве загрязняющих веществ, подбор систем управления, организация мониторинга за состоянием почв [6]. Потенциал самоочищения может служить базисом для оценки степени устойчивости почв в различных природных ландшафтах и районирования почв по показателям их устойчивости самоочищения. Решение проблемы районирования состоит в учете потенциала самоочищения природной среды, в том числе почв, который зависит от физико-климатических условий самих почв и окружающей среды [7].

Ресурсный потенциал устойчивости и самоочищающая способность почвенного покрова зависит от биогенных и абиогенных факторов [8]. Среди биогенных факторов можно отметить численность и активность почвенных микроорганизмов и ферментов, определяющих биогенность почв, а также фитоценозы. Совокупная функциональная деятельность микробиоты, обладающей многочисленными биохимическими способностями, способствует тому, что в природных ландшафтах, почве и водной среде непрерывно происходят процессы распада органических соединений как природного (растительных и животных остатков), так и техногенного происхождения, включая углеводороды, детергенты, пестициды, диоксины и т.п. [9–11]. Во всех природных ландшафтах загрязнение почвы органическими соединениями в определенных пределах способствует интенсификации в них микробиологических процессов.

В настоящее время значительное внимание уделяется изучению устойчивости природных ландшафтов и различных типов почв в отношении углеводородных загрязнений, оценке воздействия нефти, нефтепродуктов и разного типа химических веществ на ландшафты. Разнообразию природно-климатических условий на территории Азербайджана

требует дифференцированного подхода к разработке нормирования загрязнения почв разных природных зон органическими поллютантами. Для различных природных условий пределы допустимого уровня загрязнения почв теми или иными органическими веществами должны быть установлены исходя из дифференциации возможных ответных реакций среды на загрязнение. Этим целям служит районирование Азербайджана по потенциалу самоочищения с целью установления нормативов содержания в почве загрязняющих веществ с учетом региональных эколого-геохимических особенностей территорий и составляющих их почв.

Цель исследования – в первом приближении оценить потенциал самоочищения почв в случае их загрязнения поллютантами органической природы методом сопряженного системного анализа абиогенных и биогенных факторов и использовать эти данные как научную базу для районирования Азербайджана.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использовали различные показатели – содержание гумуса, осадки, баллы бонитета почв, сумму среднегодовой температуры выше 10 °С, площадь кадастровых районов [12; 13], показатель увлажнения M_d и др. [14]. Анализировали 8 основных типов почв: горно-луговые, горно-лесные бурые, горно-лесные коричневые, горные черноземы, каштановые, серо-бурые, сероземные, желтоземные. Отбор почвенных проб производили в июне 2018 г. в соответствии с ГОСТ 14.4.4.02-84, ГОСТ-29269-91, методом конверта.

Микробиологические анализы проводили в лабораторных условиях по общепринятым методикам [15] путем определения общей численности микроорганизмов в почве на мясо-пептонном бульоне. В качестве биологического фактора, отражающего степень биогенности почв, использовали показатель среднегодовой численности микроорганизмов. Коэффициент биогенности рассчитывали, приняв за единицу среднегодовую численность микроорганизмов в темно-каштановой почве, для которой этот показатель наиболее высок по сравнению с другими типами почв. По скорости биоразложения углеводорода – н-гексадекана в образцах почв судили об интенсивности самоочищения. В качестве показателя скорости биоразложения использовали коэффициент минерализации углеводорода [16]. Углеводород вносили в почву в концентрации

1 об. %. Время культивирования почв с внесением углеводорода – 10 дней в лабораторных условиях.

Статистический анализ проведен с помощью программы Excel (Microsoft Office 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что наиболее высокая степень биогенности характерна для горных черноземов и каштановых типов почв. По мере роста суммы активных температур от 1000–2000 до 4500 четко прослеживается закономерный рост показателя биогенности почв. Сравнительный анализ показывает, что наиболее высокая численность бактериальной микробиоты характерна для каштановых и горно-черноземных почв при оптимальных для них сочетаний абиогенных факторов: средней суммы температур выше 10 °С в рамках 3800–4500, $M_d = 0,28–0,30$ и содержании гумуса 3,0–3,9. Рост суммы активных температур с одновременным снижением показателя увлажненности M_d до 0,10–0,15 формирует в почве гидротермические условия, неблагоприятные для жизнедеятельности бактериальных компонентов микробиоценоза. Для сероземных и серо-бурых почв показатель биологической активности ниже такового по сравнению с каштановым типом, что может быть обусловлено недостатком естественной влажности при избытке термических ресурсов. С продвижением в сторону распространения предгорных и горных типов почв активность микробиоты в них, несмотря на наличие благоприятного увлажнения, также падает, что может быть обусловлено недостаточностью тепловых ресурсов. Для желтоземных почв снижение биогенности при благоприятном гидротермическом режиме связано в первую очередь с кислой реакцией почвенного раствора (рН в верхних слоях в пределах 4,4–4,9, с глубиной снижается, что объясняется присутствием поглощенного алюминия), неблагоприятной для жизнедеятельности бактериальной микробиоты. Желтоземные почвы, наиболее подходящие для выращивания чая, являются слабым звеном в системе почв по потенциалу самоочищения, что в основном связано с рН. Известно, что большинство почвенных организмов лучше развивается при нейтральных значениях рН почв. Более того, многие бактерии, например нитрифицирующие и клубеньковые, актиномицеты, бактерии, разлагающие мочевины, предпочитают более высокие значения рН, то есть слегка щелочные почвы. Хотя для

Таблица 1. Экологические показатели и биогенность почв
Table 1. Environmental indicators and soil biogenicity

Почвы Soil	$\Sigma T > 10^\circ$	Показатель увлажнения Moisture index	Гумус, % Humus, %	Осадки, мм/год / Precipitation, mm/year	Среднегодовая численность микроорганизмов, тыс./г почвы / Average annual number of microorganisms, ths/g of soil	Степень разложения углеводорода / Degree of hydrocarbon decomposition
Горно-луговые Umbrisols	1000–2000	0,60–0,65	6,4–7,0	1200–1400	2722 ± 2,1	0,18
Горно-лесные бурые Cambisols	2500–3000	0,45–0,60	6,5–10,5	800–900	3066 ± 2,0	0,25
Горно-лесные коричневые Kastanozems	3000–4200	0,25–0,45	5,4–6,4	550–700	3510 ± 1,8	0,41
Горные черноземы Mountain chernozems	3800–4500	0,28–0,30	7,1–8,5	500–1600	3507 ± 1,9	0,47
Каштановые Kastanozems	3800–4500	0,20–0,25	2,0–4,0	300–450	4279 ± 2,2	0,49
Сероземные Calsisols	4200–5600	0,10–0,15	1,3–1,5	150–250	3453 ± 2,0	0,14
Серо-бурые Gypsisols	4600	0,10–0,15	0,52–0,74	200	2872 ± 1,7	0,13
Желтоземные Acrisols	4000–4500	0,60–0,65	3,0–3,7	1400–1700	2208 ± 2,3	0,09

почвенных грибов благоприятны низкие значения рН, все же существенную роль в процессах самоочищения почв играет бактериальная микрофлора. В этой связи при выращивании различных сельскохозяйственных культур на желтоземных типах почв не следует применять синтетические средства химической защиты растений, в случае производственной необходимости их использования требуется обеспечить минимум их поступления в почвенную среду. При превышении экологически допустимых норм внесения синтетические химические препараты могут накапливаться в почве в связи с недостаточно высоким ее потенциалом самоочищения.

Бонитировка почв с целью оценки и сравнения их плодородия осуществляется с использованием показателей экологических условий, в том числе свойств почв. С потенциальным плодородием почв наиболее четко коррелируют такие свойства почв, как степень гумусированности, плотность, полезный объем, содержание питательных веществ, климатические факторы – суммы активных температур

выше 10 °С, коэффициент увлажнения и коэффициент континентальности [13].

На территории Азербайджана большинство типов почв различается по естественному плодородию. Почвы с высоким содержанием гумуса, биогенных элементов содержат больше питательных веществ и, как показывают исследования, для них характерна высокая численность микроорганизмов. Так как целью качественной оценки является выяснение свойств почв, важных для их самоочищения от органических загрязнений, то за основу можно принять те свойства, которые создают наиболее благоприятные условия среды для функциональной деятельности почвенной микробиоты, ответственной за сложные процессы деградации органических загрязнений. Несомненно, что такими свойствами являются высокое содержание гумуса, биогенных элементов, сумма поглощенных оснований, гранулометрический состав, соотношение тепла и влажности, а также другие экологические факторы, которые способствуют самоочищению, такие как климат, формы рельефа и пр.

Расчет почвенно-экологических индексов (ПЭИ), предназначенных для оценки плодородия почв, проводят по формуле [17]:

$$\text{ПЭИ} = 12,5(2 - V) \times \sum_{\text{п}} \frac{T > 10^\circ \cdot (KY - 0,5)}{KK + 100}, \quad (1)$$

где V – средняя плотность почвы для слоя 0–100 см; п – «полезный» объем почвы в слое 0–100 см; 12,5 – вводится в формулу с целью приведения совокупности показателей к экологическому индексу, равному 100; $\sum T > 10^\circ$ – среднегодовая сумма активных температур выше 10°C ; KY – коэффициент увлажнения; KK – коэффициент континентальности.

В формулу (1) входят показатели температуры, влажности и свойства почв, которые определяют их продуктивность. Вместе с тем эти же абиогенные факторы в основном и определяют численность и активность микроорганизмов в почве. Принимая во внимание, что процессы самоочищения почв непосредственным образом связаны с активностью в них микробиоты, представляется, что формула для определения ПЭИ с учетом биогенного фактора также может быть использована для оценки устойчивости почв при их загрязнении органическими соединениями и их способности к самоочищению.

С учетом поправочных коэффициентов биогенности, температурного фактора, а также то, что процессы микробного разложения органических веществ идут в основном в пахотном горизонте, предложено уравнение для оценки устойчивости почв к загрязнению путем определения ПЭИ_б, количественно описывающее интенсивность биодеградации поллютантов под влиянием сопряженных природных и биогенных факторов [6]:

$$\text{ПЭИ}_б = 12,5(2 - V) \times \sum_{\text{п}} \frac{T > 15^\circ \cdot (KY - 0,5)}{KK + 100} \cdot Kб, \quad (2)$$

где V – средняя плотность почвы для слоя 0–20 см; п – «полезный» объем почвы в слое 0–20 см; $\sum T > 15^\circ$ – среднегодовая сумма активных температур выше 15°C ; 12,5 – вводится в формулу с целью приведения совокупности показателей к экологическому индексу, равному 100; $Kб$ – коэффициент микробиогенности.

Показатель численности почвенных микроорганизмов в темно-каштановой почве принят в каче-

стве эталона при оценке актуальной самоочищающей способности почв, и для них на основе показателей баллов по численности почвенной микробиоты (табл. 1) рассчитаны поправочные коэффициенты биогенности (табл. 2). Наиболее высокие баллы характерны для каштановых, луговых почв и горных черноземов; серо-бурым, горно-лесным желтоземным почвам свойственна слабая степень устойчивости к загрязнению.

Формула (2) позволяет определять оценочные баллы для зональных почв, имеющих суглинистый гранулометрический состав, для других почв эти показатели можно рассчитать, используя поправочные коэффициенты в зависимости от засоленности, солонцеватости, окультуренности, эродированности, мелиоративного состояния, а также от типа и структуры загрязняющих веществ и т.д.

В этом случае формула (2) и поправочные коэффициенты дают возможность рассчитать оценочные баллы для почв любой территории, а полученные баллы будут едиными и сопоставимыми для всех природных ландшафтов Азербайджана, для которого характерны контрастные природно-климатические условия.

Физико-химические свойства почв (рН, содержание гумуса, показатели увлажнения M_d), экологические показатели природных ландшафтов (сумма активных температур выше 10°C , осадки) и степень биогенности почв, определяющие их самоочищающую способность, раскрывают их потенциальную взаимозависимость и взаимообусловленность.

Совокупность этих показателей, определяющих качественное различие почв и коррелирующих с активностью микробиоты, может быть положена в основу построения оценочных шкал. Корреляция между оценочными баллами и микробиологическими показателями почв подтверждает, что в первом приближении ранее разработанные экологические шкалы могут быть использованы для предварительного районирования ландшафтов Азербайджана, в том числе почвенного покрова, по их потенциалу самоочищения в отношении к загрязняющим веществам, а картограмма бонитета почв Азербайджана [13; 18] также может быть применена для разработки картограмм показателей устойчивости, ассимиляционного потенциала различных типов почв к ним.

Единые шкалы оценки потенциала самоочищения необходимы для определения соотношения биогенности почв и выявления регионов с благоприятными условиями для устойчивости почв

Таблица 2. Почвенно-экологические индексы почв Азербайджана
Table 2. Soil-ecological indicators for the soils of Azerbaijan

Почва Soil	Шкала бонитета / The scale of bonitet	Поправочный коэффициент по биогенности / Correction factor for biogenicity	Уточненные баллы бонитета почв с учетом поправочных коэффициентов по биогенности / Updated points of soils bonitet taking into account the biogenetic correction coefficients
Горно-луговые Umbrisols	70	0,48	33,6
Горно-лесные бурые Cambisols	72	0,63	45,3
Горно-лесные коричневые Kastanozems	85	0,69	58,6
Горные черноземы Mountain chernozems	85	0,81	68,5
Каштановые Kastanozems	80	1,0	80,0
Сероземные Calsisols	66	0,80	52,8
Серо-бурые Gypsisols	40	0,66	26,4
Желтоземные Acrisols	68	0,58	39,4

к органическим загрязнениям, для разработки и уточнения систем управления очистки почв от органических загрязнений с учетом данных районирования. Указанные шкалы дают важные сведения при оценке эффективности дополнительных вложений материальных и финансовых ресурсов для очистки загрязненных экосистем с целью достижения максимального эффекта от использования мероприятий. Единые шкалы устойчивости почв и их самоочищающей способности необходимы при разработке использования тех или других технологий, прежде всего биотехнологий очистки загрязненных экосистем. При разработке таких планов необходимо учитывать актуальную и потенциальную биогенность этих почв и возможность регулирования процессов с целью повышения оценочного балла самоочищения в соответствии с природными ресурсами и используемыми технологиями.

Определение критериев оценки дает возможность осуществить непосредственное сравнение показателей почв и устанавливать их относительные показатели потенциала самоочищения, определяющего устойчивость почвенного покрова к техногенным воздействиям.

Вполне очевидно, что уровень допустимого содержания загрязняющих веществ по их качествен-

ным и количественным показателям не может быть одинаковым для всех типов и подтипов почв на территории Азербайджана: как правило, он будет зависеть от определяющих влияние загрязнителя на почвы и растения факторов, основными из которых являются химический состав поллютанта, свойства почв, природные особенности территории и т.п., и от устойчивости к конкретному виду загрязняющего вещества.

Эти исследования позволят выявить верхний уровень загрязнения органическими веществами в почвах, который может быть принят за уровень «критической нагрузки», то есть уровень допустимой концентрации в почвах (УДК), при котором в данных природных условиях (например, для полупустынь, предгорий и гор) почва в течение одного года способна восстановить свою продуктивность и не оказывать негативное воздействие на почвенный биоценоз.

Предлагаемые подходы к районированию почв по их устойчивости к загрязнению позволят установить критическую нагрузку органических загрязнений в почвах и грунтах, выше которой почва не способна справиться с загрязнением. Этот уровень критической нагрузки, который можно назвать верхним пределом потенциала самоочищения

(ВППС), несомненно, будет различаться для различных типов почв Азербайджана. Почвы, в которых содержание загрязняющих веществ выше ВППС, должны будут подвергаться очистке и ремедиации, что позволит им выйти из стадии деградации и не оказывать негативное влияние на сопредельные среды. Примером являются тысячи гектаров почв на территории Апшеронского промышленного региона, загрязненных нефтяными углеводородами в процессе разработки нефтяных месторождений, которые за прошедшие десятилетия после загрязнения не способны к самоочищению [16].

Исследование потенциала самоочищения почвенного покрова позволит расширить базы данных по показателям УДК и ВППС по степени загрязнения почв различными органическими веществами техногенной природы, которые могут быть использованы при районировании почв. Использование базы данных по показателям УДК и ВППС является очень важным элементом при ранжировании почв, так как степень загрязненности почв, например, пестицидами, гербицидами, детергентами и другими поллютантами, несомненно, является фактором, определяющим биологическую активность и плодородие почв, возможность использования их под те или иные культуры, производство экологически чистой сельскохозяйственной продукции и т.п.

В перспективе по мере накопления результатов исследований можно будет рассчитать средние оценочные баллы устойчивости к загрязнению для отдельных подтипов почв по формуле:

$$B_y = \frac{s_1 b_1 + s_2 b_2 + \dots + s_n b_n}{s_n},$$

где B_y – средневзвешенный балл устойчивости; $s_1 + s_2 + \dots + s_n$ – площади отдельных почвенных разновидностей; $b_1 + b_2 + \dots + b_n$ – оценочные баллы устойчивости почвенных разновидностей.

На основе данных бонитировки почв основных кадастровых районов Азербайджана [16] проведен сравнительный анализ устойчивости почвенного покрова этих районов. Устойчивость почв кадастровых районов к загрязнению в сравнительном плане не одинакова (табл. 3). Губа-Хачмазский, Ленкоран-Астаринский, Кельбаджар-Губадлинский, Нагорно-Карабахский и другие кадастровые районы в первом приближении потенциально обладают более высокой актуальной устойчивостью и способностью к самоочищению, чем Апшеронский район или территория Нахичеванской Автономной Республики (АР). Можно полагать, что

сравнительно более низкую устойчивость почв последних определяют разные абиогенные факторы: например, в Апшеронском районе более значимыми будут физико-химические свойства почв (достаточно отметить, что только в Апшеронском природно-экономическом районе площадью свыше 508 тыс. га имеется 22 типа и подтипа почв), в Нахичеванской АР – климатический фактор (например, континентальность климата).

В то же время потенциал самоочищения территории Азербайджана в целом достаточно высок. Порядка 87 % территории страны характеризуется высокой степенью устойчивости к загрязнению углеводородами.

Полученные данные позволяют разработать карты районирования территории Азербайджана по характеру потенциальных изменений природных ландшафтов при их загрязнении в зависимости от уровня техногенной нагрузки и типа загрязняющих веществ.

Площадь степей и полупустынь, для которых характерна высокая степень самоочищения, составляет около 67 % общей площади страны; это в основном зоны распространения сероземов, серо-бурых почв и других разновидностей почв полупустынь. Почвы Кура-Аразской низменности потенциально не являются накопителями органического углерода с длительным временем его пребывания в почвенном резервуаре. Площадь территорий с высокой устойчивостью к загрязнению (ландшафты лесных зон и предгорные районы) составляет около 21 % территории страны. Территории с низкой способностью к самоочищению (почвенный покров в горных районах) занимают около 10,2 % общей площади Азербайджана.

Можно определить, что чувствительность и устойчивость к загрязнению органическими поллютантами на территории страны, которые зависят от самоочищающей способности природных ландшафтов, разнонаправлены. В естественных условиях наиболее низкой устойчивостью (низкой буферностью) по отношению к органическим поллютантам в пределах Кура-Аразской низменности обладает почвенный покров восточной зоны. Биогеоценозы в западной, северной и южной частях страны обладают более высокой устойчивостью, в них набор природных абиогенных и биогенных факторов, обеспечивающих сравнительно большую устойчивость и определяющих ассимиляционный потенциал природных ландшафтов, шире и разнообразнее относительно территории Кура-Араз-

Таблица 3. Средневзвешенный балл и устойчивость к загрязнению органическими веществами почв основных кадастровых районов Азербайджана**Table 3.** The weighted average score and resistance of soils to organic contamination of the main cadastral districts of Azerbaijan

Кадастровые районы Cadastral areas	Баллы бонитета почв / Soil bonus points	Площадь / Area		Оценка потенциала самоочищения / Self-cleaning potential assessment
		Га Ha	%	
Северо-восточный Губа-Хачмазский North-east Guba-Khachmaz	71	804510	9,30	высокая high
Нагорно-Карабахский Nagorno-Karabakh	71	497340	5,75	высокая high
Ленкоран-Астаринский Lenkoran-Astara	70	596770	6,90	высокая high
Юго-западный Кяльбаджар-Губадлинский / South-western Kalbajar-Gubadli	70	370620	4,27	высокая high
Центральный юго-восточный Мугано-Сальянский / Central south-eastern Mugano-Salyan	69	854630	9,88	высокая high
Южно-Приараксинский South Priaraksy	67	316620	4,4	высокая high
Центральный юго-восточный Мильско-Карабахский / Central south-eastern Mil-Karabakh	66	642600	7,44	высокая high
Западный Гянджа-Газахский Western Ganja-Gazakh	66	1255320	14,50	высокая high
Центральный Северо-Ширванский Central North-Shirvan	65	623970	7,22	высокая high
Центральный северо-восточный Шамаха-Исмаиллинский / Central north-eastern Shamakhi-Ismayilli	60	592470	6,85	высокая high
Северо-западный Шеки-Закатальский North-west Sheki-Zakatala	59	1041840	12,04	высокая high
Нахичеванский Nakhichevan	55	536310	6,21	хорошая good
Апшеронский Absheron	44	508500	5,90	средняя average
Всего In total	64	8641500	100,0	высокая high

ской изменности. В восточной части страны сравнительно меньшее биологическое разнообразие означает более короткие пищевые цепи, меньшее количество случаев симбиоза и возможности для проявления отрицательной обратной связи, которая повышает колебания и потому снижает стабильность природных ландшафтов и их устойчивость при техногенных воздействиях [19].

В случае загрязнения серо-бурых и сероземно-бурых типов почв, характерных для восточной части страны, дозами, значительно превышающими

ми УДК и ВППС, они в естественных условиях потенциально не способны к самоочищению и восстановлению своих исходных физико-химических и биологических свойств. Именно в этих провинциях, для которых по сравнению с западной частью страны характерен сравнительно слабый потенциал самоочищения, будут востребованы мероприятия по их ремедиации путем использования интенсивных технологий, в том числе биотехнологий, включающие поддержание влажности с помощью искусственного полива, использование органиче-

ских и минеральных удобрений, частое рыхление и др., для превалирования процессов минерализации загрязнений.

ВЫВОДЫ

Как известно, бонитировка почв представляет собой сравнительную оценку качества почв, их производительной способности по отношению к природным или культурным фитоценозам. Приводятся примеры моделей-классификаций интегральной оценки устойчивости почв и ландшафта с использованием балльной оценочной системы по методу сводных показателей на основе учета абиогенных факторов [8]. В данной работе с помощью сопряженного анализа в системе почва – климат – биогенность почв в сравнительном аспекте впервые сделана попытка ранжирования почв и кадастровых районов Азербайджана по их самоочищающей способности в случае загрязнения их веществами органической природы, что в определенной степени дополнило и обогатило данные о качестве почв и их производительной способности. В этом аспекте проведенные исследования отвечают принципам Европейской рамочной водной директивы (Water Framework Directive), основанной в том числе на принципе экосистемного подхода к объектам с учетом как абиотических, так и биотических компонентов.

В контексте основополагающей концепции устойчивого развития можно констатировать, что в Азербайджане значительная часть высокогорных районов с ненарушенными или слабо нарушенными естественными экосистемами составляет «каркас устойчивости» территории страны, причем не по воле человека, а по воле самой природы. Вместе с тем уже в первом приближении видно, что потенциал самоочищения в случае загрязнения различен для отдельных природных ландшафтов. Эта информация может быть использована для более углубленной и более детальной оценки зон, районов и микрорайонов в пределах кадастровых районов по устойчивости к загрязнению почв в зависимости от их конкретных природно-климатических особенностей, физико-химических и биологических свойств.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения масштабных комплексных исследований по оценке и районированию почв и природных ландшафтов на территории Азербайджана по их потенциалу самоочищения,

устойчивости к загрязнению [20], то есть экологической емкости – способности природной среды переносить антропогенные нагрузки, – путем более углубленного синтетического комплексного анализа абиогенных и биогенных факторов, выявления участия в процессах биоразложения различных поллютантов более широкого круга систематических групп почвенных микроорганизмов – разных групп бактерий, грибов, дрожжей и др. Актуальны исследования в области оценки их «экологического запаса» – разницы между экологической емкостью территории и текущими и планируемыми выбросами загрязняющих веществ. Пространственная дифференциация территорий в процессе мониторинговых и экспериментальных полевых исследований позволит установить экологически обоснованные стандарты качества природных ландшафтов.

Естественно, что оценка устойчивости природных ландшафтов и всех составляющих их компонентов как единой биогеосистемы к загрязнению поллютантами потребует использования более широкого набора факторов, чем при оценке ассимиляционной емкости почвенного покрова.

Очевидно, что для такой обширной территории, как Азербайджан, единых рекомендаций по защите и ремедиации земель, нарушенных в результате техногенного воздействия, для всех его регионов не может быть. Полезная для одних районов технология рекультивации может оказаться малоэффективной для других.

Экологический подход при оценке состояния окружающей среды и всех ее компонентов, а также нормирование ее качества является приоритетно определяющим. Проведенные в данной работе биоэкологические подходы и принципы дифференциации территории Азербайджана по устойчивости к органическим загрязнениям различной природы могут быть полезны для научного обоснования мероприятий по защите и восстановлению природных ландшафтов. Эти мероприятия могут быть наиболее эффективными в том случае, когда для каждого ландшафтно-геохимического района будут учтены почвенно-геохимические и биоклиматические характеристики природных геобиоэкосистем. С этой целью должны быть выявлены природные механизмы и ресурсы ассимиляционной емкости природных сред, закономерности самоочищения, факторы, воздействующие на эти процессы. Важными в этом аспекте являются количественные критерии, характеризующие разные стадии изменения загрязните-

лей, почв, растительности, поверхностных и грунтовых вод, а также интенсивность восстановления компонентов природных ландшафтов. В каждом отдельном случае необходимо проведение полевых экспериментов на природных моделях и непосредственно в полевых условиях с использованием интегральных показателей биологического состояния почвы, определенных на основе комплекса информативных биологических показателей, реагирующих на антропогенное воздействие.

Экология и цифровизация – тесно связанные понятия, так как экосистема в любой сфере есть саморегулирующаяся, самодостаточная система, в основе которой лежит безграничная по своему

масштабу, глубине и объему биоинформационная база данных. Представленные в работе сведения об устойчивости различных типов почв в зависимости от абиогенных и биогенных факторов, являясь научным ресурсом, открывают перспективу для формирования информационной базы данных по устойчивости всех компонентов природных ландшафтов страны к техногенному воздействию с использованием методов цифровизации, что позволит совершенствовать экологическую политику предприятий и организаций с целью сохранения экосистем долговременно стабильными и самодостаточными в условиях нарастающих темпов антропогенного воздействия на них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абызбаев И.И., Зейгман Ю.В., Майский Р.А., Ситдиков И.А., Нурлыбаев А.К. 2019. Совершенствование методики прогнозирования добычи нефти на поздней стадии разработки. *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. 6(122): 30–39. doi: 10.17122/ntj-oil-2019-6-30-39
- Aljerf L. 2017. Biodiversity is key for more variety for better society. *Biodiversity International Journal*. 1(1): 1–4. doi: 10.15406/bij.2017.01.00002
- Макаров М.Р. 2019. Необходимость изучения процессов самостоятельного очищения почвы от пестицидов. *Бюллетень науки и практики*. 5(8): 66–69. doi: 10.33619/2414-2948/45/07
- Солнцева Н.П., Пиковский Ю.И., Никифорова Е.М., Оборин А.А., Калачникова И.Г., Шилова И.И., Исмаилов Н.М., Артемьева Т.И. 1985. Проблемы загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами: геохимия, экология, рекультивация. В кн.: *Доклады симпозиума VII делегатского съезда Всесоюзного общества почвоведов. Часть 6 (Ташкент, 9–13 сентября 1985 г.)*. Ташкент: 246–254.
- Исмаилов Н.М. 1982. Нефтяное загрязнение и биологическая активность почв. В кн.: *Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем*. М., Наука: 227–234.
- Исмаилов Н.М. 2012. Оценки ресурсного потенциала самоочищения почв Азербайджана при загрязнении органическими веществами. В кн.: *Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Доклады Всероссийской научной конференции (Москва, 4–6 апреля 2012 г.)*. М., МГУ: 144–146.
- Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды*. 1983. М., Мысль: 206 с.
- Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. 2014. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. III. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем. *Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология, география*. 4: 114–130.
- Ананьева Н.Д. 2003. *Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв*. М., Наука: 223 с.
- Hiraishi A. 2003. Biodiversity of dioxin-degrading microorganisms and potential utilization in bioremediation. *Microbes and Environments*. 18(3): 105–125. doi: 10.1264/jsme2.18.105
- Kim A.A., Djuraeva G.T., Takhtobin K.S., Kadirova M., Yadgarov H.T., Zinovev P.V., Abdurkarimov A.A. 2004. Investigation of PCBs biodegradation by soil bacteria using tritium-labelled PCBs. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 259(2): 301–304. doi: 10.1023/B:JRNC.0000017307.35460.b9
- Бабаев М.П., Джафарова Ч., Гасанов В. 2006. *Современная классификация почв Азербайджана*. Баку, Элм: 359 с.
- Мамедов Г.Ш. 2000. *Земельная реформа в Азербайджане: правовые и научно-экологические вопросы*. Баку, Элм: 370 с.
- Эюбов А.Д. 1975. *Бонитировка климата Азербайджанской ССР*. Баку, Элм: 148 с.
- Практикум по микробиологии*. 2005. М., Академия: 608 с.
- Исмаилов Н.М., Наджафова С.И., Гасымова А.С. 2020. *Биоэкокластерные комплексы для решения экологических, производственных и социальных проблем (на примере территории Азербайджана)*. М., ИНФРА-М: 260 с.
- Карманов И.И., Фриев Т.А. 1982. Бонитировка почв на основе почвенно-экологических показателей. *Почвоведение*. 5: 13–21.
- Мамедов Г.Ш. 1990. *Агроэкологические особенности и бонитировка почв Азербайджана*. Баку, Элм: 172 с.
- Исмаилов Н.М., Наджафова С.И. 2017. *Устойчивость ландшафтов вдоль основных экспортных трубопроводов к загрязнению сырой нефтью (в пределах территории Азербайджана)*. М., ИНФРА-М: 156 с.
- Бабаев М.П., Исмаилов Н.М., Наджафова С.И., Кейсерухская Ф.Ш., Оруджева Н.И. 2020. К вопросу о разработке ПДК нефти и нефтепродуктов в различных типах почв на основе их ассимиляционного потенциала (на примере почв Азербайджана). *Почвоведение*. 11: 1393–1400.

REFERENCES

- Abyzbaev I.I., Zeigman Yu.V., Maiski R.A., Sitdikov I.A., Nurlybayev A.K. 2019. [Improvement of techniques for predicted oil production at mature oil field]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov*. 6(122): 30–39. (In Russian). doi: 10.17122/ntj-oil-2019-6-30-39

2. Aljerf L. 2017. Biodiversity is key for more variety for better society. *Biodiversity International Journal*. 1(1): 1–4. doi: 10.15406/bij.2017.01.00002
3. Makarov M.R. 2019. [Need to study the processes of self-purification of the soil from pesticides]. *Byulleten' nauki i praktiki*. 5(8): 66–69. (In Russian). doi: 10.33619/2414-2948/45/07
4. Solntseva N.P., Pikovsky Yu.I., Nikiforova E.M., Oborin A.A., Kalachnikova I.G., Shilova I.I., Ismailov N.M., Artem'eva T.I. 1985. [Problems of soil pollution by oil and petroleum products: geochemistry, ecology, remediation]. In: *Doklady simpoziuma VII delegatskogo s"ezda Vsesoyuznogo obshchestva pochvedovedov. Chast'6*. [Reports of the Symposium of the VII Delegate Congress of the All-Union Society of Soil Scientists. Part 6 (Tashkent, USSR, 9–13 September 1985)]. Tashkent: 246–254. (In Russian).
5. Ismailov N.M. 1982. [Oil pollution and soil biological activity]. In: *Dobycha poleznykh iskopaemykh i geokhimiya prirodnnykh ekosistem*. [Mining and geochemistry of natural ecosystems]. Moscow, Nauka: 227–234. (In Russian).
6. Ismailov N.M. 2012. [Assessment of the resource potential of self-cleaning of soil in Azerbaijan in case of organic matter pollution]. In: *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv (k 100-letiyu M.A. Glazovskoy)*. *Doklady Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii*. [Geochemistry of landscapes and geography of soils (to the 100th anniversary of M.A. Glazovskaya). Reports of the All-Russian Scientific Conference (Moscow, Russia, 4–6 April 2012)]. Moscow, Moscow State University: 144–146. (In Russian).
7. *Landshaftno-geokhimicheskoe rayonirovanie i okhrana sredy*. [Landscape and geochemical zoning and environmental protection]. 1983. Moscow, Mysl': 206 p. (In Russian).
8. Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N. 2014. [Approaches to assessment and GIS mapping of sustainability and environmental well-being of geosystems. III. Integrated assessment of the sustainability of soil and terrestrial geosystems]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 7. Geologiya, geografiya*. 4: 114–130. (In Russian).
9. Ananyeva N.D. 2003. *Mikrobiologicheskie aspekty samooshishcheniya i ustoychivosti pochv*. [Microbiological aspects of self-cleaning and soil stability]. Moscow, Nauka: 223 p. (In Russian).
10. Hiraishi A. 2003. Biodiversity of dioxin-degrading microorganisms and potential utilization in bioremediation. *Microbe and Environments*. 18(3): 105–125. doi: 10.1264/jsm2.18.105
11. Kim A.A., Djuraeva G.T., Takhtobin K.S., Kadirova M., Yadgarov H.T., Zinovev P.V., Abdurkarimov A.A. 2004. Investigation of PCBs biodegradation by soil bacteria using tritium-labelled PCBs. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 259(2): 301–304. doi: 10.1023/B:JRNC.0000017307.35460.b9
12. Babaev M.P., Jafarova Ch., Gasanov V. 2006. *Sovremennaya klassifikatsiya pochv Azerbaydzhana*. [Modern classification of soils of Azerbaijan]. Baku, Elm: 359 p. (In Russian).
13. Mamedov G.Sh. 2000. *Zemel'naya reforma v Azerbaydzhanе: pravovye i nauchno-ekologicheskie voprosy*. [Land reform in Azerbaijan: legal, scientific and environmental issues]. Baku, Elm: 370 p. (In Russian).
14. Eyubov A.D. 1975. *Bonitirovka klimata Azerbaydzhanskoй SSR*. [The bonitation of the climate of the Azerbaijan SSR]. Baku, Elm: 148 p. (In Russian).
15. *Praktikum po mikrobiologii*. [Workshop on Microbiology]. 2005. Moscow, Nauka: 608 p. (In Russian).
16. Ismailov N.M., Nadjafova S.I., Gasimova A.S. 2020. *Bioekoklasternye komplekсы dlya resheniya ekologicheskikh, proizvodstvennykh i sotsial'nykh problem (na primere territorii Azerbaydzhana)*. [Bio-eco cluster complexes for solving environmental, industrial and social problems (on the example of the territory of Azerbaijan)]. Moscow, INFRA-M: 260 p. (In Russian).
17. Karmanov I.I., Frieв T.A. 1982. [Bonitation of soils based on the soil-environmental indicators]. *Pochvovedenie*. 5: 13–21. (In Russian).
18. Mamedov G.Sh. 1990. *Agroekologicheskie osobennosti i bonitirovka pochv Azerbaydzhana*. [Agro-ecological characteristics and the soil bonitation of Azerbaijan]. Baku, Elm: 172 p. (In Russian).
19. Ismailov N.M., Najafova S.I. 2017. *Ustoychivost' landshaftov vdol' osnovnykh eksportnykh truboprovodov k zagryazneniyu syroy nefi yu (v predelakh territorii Azerbaydzhana)*. [Stability of landscapes along major export pipelines to crude oil pollution (within the territory of Azerbaijan)]. Moscow, INFRA-M: 156 p. (In Russian).
20. Babaev M.P., Ismailov N.M., Ndzhafova S.I., Keiserukhskaaya F.Sh., Ordzheva N.I. 2020. Approaches to determining maximum permissible concentrations of oil and oil products for different soil types on the basis of the assimilation potential (by the example of Azerbaijan soils). *Eurasian Soil Science*. 53(11): 1629–1634. doi: 10.1134/S1064229320110046

Поступила 02.12.2020