

Эколого-геохимические исследования: проблемы и совершенствование методики проведения

© 2023 И. И. Косинова^{1✉}, В. А. Бударина¹, О. В. Базарский¹,
И. М. Игнатенко², Ж. Ю. Кочетова³

¹*Воронежский государственный университет,
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*

²*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
ул. Победы, 85, 308015, Белгород, Российская Федерация*

³*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил Военно-воздушная академия
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, ул. Старых Большевиков,
54А, 394064, Воронеж, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: Эколого-геохимические исследования являются основным элементом инженерно-экологических изысканий. Методология их проведения исторически связана с геохимическими исследованиями в целях поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Современные нормативные документы содержат ряд принципиальных ошибок, которые не позволяют дать достоверную эколого-геохимическую оценку территорий. Целью настоящей статьи является анализ существующих методических подходов при эколого-геохимических исследованиях, направленный на их совершенствование и исключение существующих ошибок.

Методика: Проведенные исследования включают ретроспективную оценку существующих подходов, натурное моделирование плотности и сети опробования при эколого-геохимических исследованиях, статистическую обработку полученных данных. В работе проведен статистический анализ точности эколого-геохимических измерений при различных размерах конверта и определены его оптимальные размеры.

Результаты: В результате проведенных исследований выявлено, что существующая методика проб отбора почв статистически достоверна при размере конверта до 100×100 м². Оптимальный размер конверта по критериям точности измерений и экономическим затратам составляет 10×10 м², что соответствует методическим рекомендациям. Предельная точность измерений – точность прибора. Определен второй экстремум при размере конверта 47×47 м², по точности измерений проигрывающий оптимальному случаю всего на 25 %, но по экономическим затратам дающий выигрыш в 25 раз – 4 «конверта» на гектар. Выявлена принципиальная ошибка при эколого-геохимических оценках почв, связанная с использованием формулы Ю.Е. Саета в сокращенном объеме.

Выводы: Практическая значимость проведенных исследований позволяет обосновать основные методические подходы при проведении эколого-геохимических исследований: оптимальные размеры конвертов – 10×10 м², 47×47 м²; плотность опробования составляет 1 площадка на 1 га; при расчете суммарного показателя загрязнения должны учитываться только те концентрации, которые превышают предельно допустимые значения.

Ключевые слова: методика, особенности, эколого-геохимические оценки, площадки, размер, плотность, опробование, процесс, изыскания, критерии.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Косинова Ирина Ивановна, e-mail: Kosinova777@yandex.ru

Для цитирования: Косинова И. И., Бударина В. А., Базарский О. В., Игнатенко И. М., Кочетова Ж. Ю. Эколого-геохимические исследования: проблемы и совершенствование методики проведения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2023. № 3. С. 124–132. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/124-132>

Введение

Инженерно-экологические изыскания являются необходимым элементом проектирования зданий и сооружений. Их основной задачей является комплексное изучение эколого-геологических условий территорий в целях дальнейшего градостроительного освоения. Базовый элемент инженерно-экологических изысканий – эколого-геохимическая оценка почв и грунтов [1]. В результате данных исследований определяются экологическое состояние почв и грунтов, перспективы их дальнейшего освоения в процессе строительства. Выявляются уровни загрязнения почв и грунтов, степень их воздействия на проектируемое инженерное сооружение. На основании эколого-геохимических оценок определяются варианты проектирования при рассмотрении альтернативных вариантов строительства. Важным элементом эколого-геохимических исследований является определение мощности плодородных почв, необходимых при снятии в процессе строительства. Широко известны случаи превышений мощностей почв, что значительно увеличивает стоимость проекта. В этой связи разделение почв и грунтов имеет большое экологическое и экономическое значения. При этом учитываются морфологические особенности почв и грунтов, а также оценка плодородия почвенного профиля.

Современные подходы, заложенные в разделах эколого-геохимических исследований почв и грунтов, базируются на Методических рекомендациях ЦРГЦ, разработанных в 1982 г. [2]. Методом варьирования содержаний микроэлементов в пределах фоновых пробных площадок с установленным размером 10×10 м определено, что для большинства изучаемых элементов коэффициент вариации содержаний не превышает 30 % (в среднем от 6 до 20 %). В этой связи было обозначено количество проб будущего «конверта» 4–5 проб с одной пробной площадки, ошибка при этом не превышала 20 %. В случае отбора 1–2 проб с пробной площадки уровень ошибки увеличивался до 30 %.

В пределах антропогенных ореолов результаты натурных измерений имели иные значения [3]. Было выявлено, что единичная проба на площадке размером 1 м^2 характеризует только ближнюю окрестность точки отбора. Для характеристики комплексного ореола предлагалось отобрать 9 проб при заданном уровне ошибки $A = 20 \%$ и 4–5 проб при $A = 30 \%$.

Данные рекомендации определяли, что для площадки размерами 10×10 м эти оптимальные величины составляют соответственно 30 и 12 проб. В качестве результата наиболее оптимальной считалась пробная площадка размером 10×10 м. При этом на участках фона и в пределах слабых аномалий рекомендуемое число смешиваемых проб составляет 4–5, в очагах загрязнения – 12–15. Подобный подход позволял охарактеризовать фон с ошибкой до 20 %, антропогенный ореол – с ошибкой до 30 %.

теризовать фон с ошибкой до 20 %, антропогенный ореол – с ошибкой до 30 %.

Следует подчеркнуть, что данные методические подходы были трансформированы в современных нормативных документах. Для сокращения экономических затрат при эколого-геохимических исследованиях используется метод «конверта» [4–6]. Пробы отбираются в пяти точках: в центре и четырех углах конверта, смешиваются и квартуются. Одна из четырех проб передается на аналитические исследования. Рекомендуемый минимальный размер «конверта» – $10 \times 10 \text{ м}^2$, что требует 100 анализов на гектар, а максимальный размер конверта не должен превышать $100 \times 100 \text{ м}^2$ (один анализ на гектар). При этом не ясна эффективность опробования, которая зависит от ряда факторов: ошибок, присущих методу конверта при различных размерах конвертов; экономических затрат на опробование территории.

В этой связи целью настоящей работы является статистическое обоснование плотности опробования почв и грунтов, определение оптимальных размеров пробной площадки при инженерно-экологических изысканиях.

Методы исследования, результаты натурных измерений и их анализ

Для проведения работ были выбраны два территориально близких участка площадью в один гектар. Первый участок находится в лесной зоне в пригороде города Воронеж, перспективного для градостроительного освоения. Второй участок натурального моделирования расположен примерно в 900 м юго-восточнее от первого на правом берегу низовьев Воронежского водохранилища. Почвы первого участка сложены серыми лесными почвами, второго – песчаными почвами террас р. Воронеж зернистости от 0.07 до 0.2 см. Нижележащие грунты представлены песчано-глинистыми отложениями. Весомыми загрязнителями для этих двух участков являются завод порошковой металлургии и аэродром «Балтимор» (рис. 1).

Маркер, удовлетворяющий требованиям задачи исследования, должен иметь следующие особенности:

1. Он должен стабильно отображать вид почв площадок.
2. Загрязняющие вещества, привнесенные от одних и тех же источников, должны примерно в одинаковой степени интегрально изменять выбранный маркер [7].

Этим двум условиям соответствует маркер – концентрация кислотно-щелочного баланса (рН).

Относительно геометрического центра каждого участка построено семь «конвертов», вложенных друг в друга, с площадями $(1 \times 1) \text{ м}^2$; $(5 \times 5) \text{ м}^2$; $(10 \times 10) \text{ м}^2$; $(20 \times 20) \text{ м}^2$; $(35 \times 35) \text{ м}^2$; $(50 \times 50) \text{ м}^2$; $(100 \times 100) \text{ м}^2$.

Всего отобрано 29 проб. Согласно существующим

методикам, в рамках конверта почвы квартовуются с последующим отбором 1 пробы, которая анализируется.

Для оценки статистической достоверности метода конверта нами анализировалась каждая проба в отдельной точке конверта [8]. Производился анализ величины рН для каждой из 29 проб, а также для каждого из семи «конвертов» с пятью квартованными пробами. Результаты измерений сведены в таблицы 1 и 2.

Отношение $C_{\text{конв}}/C_{\text{ср}}$ показывает сравнение данных для «конверта» со смешением проб и вычислении среднего по «конверту» для пяти проб, отобранных в рамках отдельного конверта; отношение σ/Δ – нормированная ошибка, которая показывает превышение допустимой ошибки изменений рН к точности метода измерения; в последнем столбце приведены площади исследованных «конвертов» $S_{\text{конв}}$.



Рис. 1. Карта фактического материала с точками наблюдения 1 и 2.
[Fig. 1. Map of factual material with observation points 1 and 2.]

Табл. 1. Результаты статистической обработки результатов замеров кислотно-щелочного баланса почв участка 1
[Table 1. The results of statistical processing of the results of measurements of the acid-base balance of soils in plot 1]

Конверт [envelope]	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	$C_{\text{ср}}$	σ	Δ	$\Delta_{\text{полн}}$	$\varepsilon, \%$	$C_{\text{конв}}$	$\frac{C_{\text{конв}}}{C_{\text{ср}}}$	σ/Δ	$S_{\text{конв}}$
1×1	6.87	6.93	6.89	6.95	7.04	6.94	0.0662	0.02	0.07	1.0	6.91	1.00	3.31	1
5×5		7.05	6.96	7.01	7.02	6.98	0.0705	0.02	0.07	1.0	7.04	1.01	3.52	25
10×10		6.90	6.94	7.04	6.97	6.94	0.0658	0.02	0.07	1.0	7.14	1.03	3.29	100
20×20		7.02	7.13	7.03	6.95	7.00	0.0970	0.02	0.10	1.4	7.18	1.03	4.85	400
35×35		7.29	7.38	7.04	6.87	7.09	0.2363	0.02	0.24	3.3	7.16	1.01	11.8	1225
50×50		7.31	7.43	7.25	7.02	7.18	0.2269	0.02	0.23	3.2	7.18	1.00	11.3	2500
100×100		6.98	7.16	7.18	7.11	7.06	0.1317	0.02	0.13	1.9	7.20	1.02	6.59	10000

Примечания: C_0 – значение рН в центре площадок; C_1, C_2, C_3, C_4 на углах «конверта»; $C_{\text{ср}}$ – среднее по «конверту» по пяти измерениям; σ – среднеквадратичная ошибка; Δ – точность метода измерения рН; ε – относительная ошибка измерений по каждому «конверту»; $C_{\text{конв}}$ – результат анализа при смешении проб для каждого «конверта» из квартованной пробы.

[Note: C_0 – the pH value in the center of the pads; C_1, C_2, C_3, C_4 at the corners of the «envelope»; $C_{\text{ср}}$ – the average of the «envelope» in five dimensions; σ – the standard error; Δ – the accuracy of the pH measurement method, ε – the relative measurement error for each «envelope»; $C_{\text{конв}}$ – the result of the analysis when mixing samples for each «envelope» from the quartered sample.]

Табл. 2. Результаты статистической обработки результатов замеров кислотно-щелочного баланса почв участка 2
 [Table 2. The results of statistical processing of the results of measurements of the acid-base balance of soils in plot 2]

Конверт [envelope]	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	$C_{ср}$	σ	Δ	$\Delta_{полн}$	$\varepsilon, \%$	$C_{конв}$	$\frac{C_{конв}}{C_{ср}}$	σ/Δ	$S_{конв}$
1×1	6.65	6.79	6.63	6.54	6.73	6.67	0.0960	0.02	0.10	1.5	6.59	0.99	4.80	1
5×5		6.77	6.88	6.74	6.93	6.79	0.1119	0.02	0.11	1.7	6.84	1.01	5.60	25
10×10		6.95	6.93	6.87	6.99	6.88	0.1346	0.02	0.14	2.0	6.78	0.99	6.73	100
20×20		6.81	6.46	7.02	6.64	6.72	0.2103	0.02	0.21	3.1	6.83	1.02	10.5	400
35×35		6.93	7.25	7.07	7.19	7.02	0.2394	0.02	0.24	3.4	6.98	0.99	12.0	1225
50×50		6.94	6.62	6.68	6.63	6.70	0.1339	0.02	0.14	2.0	6.81	1.02	6.70	2500
100×100		7.11	6.91	6.88	7.20	6.95	0.2148	0.02	0.22	3.1	6.81	0.98	10.7	10000

Примечания: C_0 – значение pH в центре площадок; C_1, C_2, C_3, C_4 на углах «конверта»; $C_{ср}$ – среднее по «конверту» по пяти измерениям; σ – среднеквадратичная ошибка; Δ – точность метода измерения pH; ε – относительная ошибка измерений по каждому «конверту»; $C_{конв}$ – это результат анализа при смешении проб для каждого «конверта» из квартованной пробы.

[Note: C_0 – the pH value in the center of the pads; C_1, C_2, C_3, C_4 at the corners of the «envelope»; $C_{ср}$ – the average of the «envelope» in five dimensions; σ – the standard error; Δ – the accuracy of the pH measurement method, ε – the relative measurement error for each «envelope»; $C_{конв}$ – the result of the analysis when mixing samples for each «envelope» from the quartered sample.]

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Средние показатели почв участка моделирования 1 (серые лесные почвы) является более подкисленными, чем песчаные.

2. Отношение $C_{конв}/C_{ср}$ для всех размеров «конвертов» и исследуемых видов почв оказалось практически равным единице. Иными словами, метод смешивания и квартования проб статистически достоверен в области

неоднородных почв на площади до 1 га.

3. Нормированная ошибка монотонно возрастает до $S_{конв}=100 \text{ м}^2$, а затем наблюдается резкое увеличение ошибки до $S_{конв}=1225 \text{ м}^2$ с последующим снижением (рис. 2). Ход ошибки в пределах точности измерений достаточно близок для выбранных почв.

Поэтому кривая 2 иллюстрирует поведение усредненной ошибки для исследуемых видов почв.

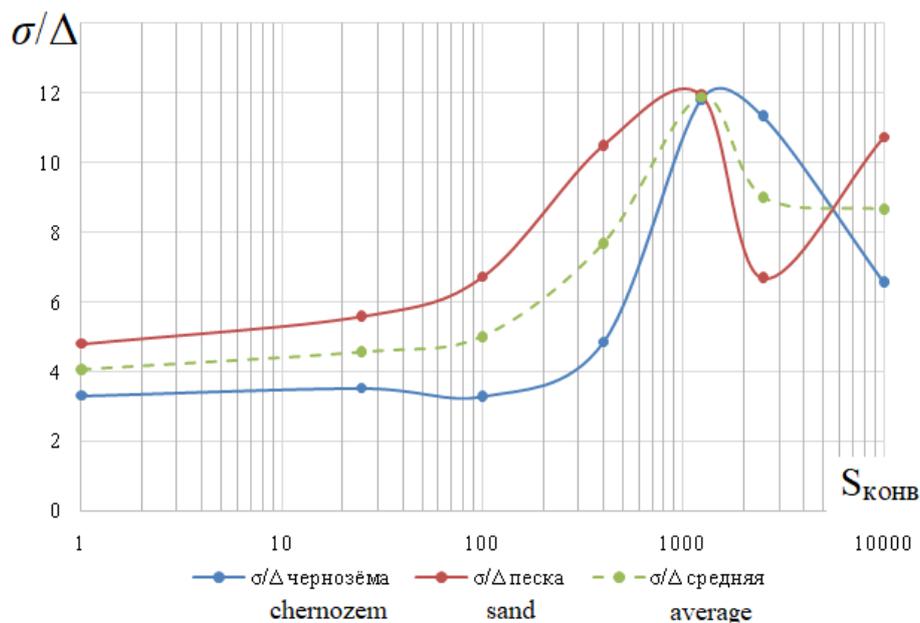


Рис 2. Зависимость нормированной ошибки от площади «конверта».
 [Fig. 2. Dependence of the normalized error on the area of the «envelope».]

Полученные результаты

Эффективность эколого-геохимических измерений зависит от двух факторов. Увеличение площади

«конверта» приводит к ухудшению точности измерений, а с другой стороны, – к резкому уменьшению их стоимости, причем второй фактор является домини-

рующим [9]. Поэтому при оценке эффективности необходимо увеличить «вес» ошибки и перейти к логарифмическому масштабу. С учетом высказанных положений при допустимой величине нормативной ошибки равной σ/Δ формула для оценки эффективности изменений в зависимости от площади конверта $S_{\text{конв}}$ имеет следующий вид:

$$\mathcal{E}_\Phi = \frac{1}{\ln(\exp(\sigma/\Delta)/S_{\text{конв}})}, \quad (1)$$

где σ/Δ – превышение допустимой ошибки изменений к точности метода измерения pH; σ/Δ – нормированная ошибка; $S_{\text{конв}}$ – площадь конверта.

Вычисленная по формуле (1) зависимость эффективности измерений от площади конверта для усредненной почвы приведена на рис. 3 (пунктирная

кривая). Сплошная линия – это усредненный тренд для различных видов почв. Для точек расположенных выше этой величины, эффективность измерений выше средней. По первому максимуму эффективность выше средней наблюдается при площади конверта $36 \text{ м}^2 < S_{\text{конв}} < 300 \text{ м}^2$, а максимальная эффективность достигается при $S_{\text{конв}} = 100 \text{ м}^2$ – размер квадрата $10 \times 10 \text{ м}^2$, что соответствует методическим рекомендациям [4]. Второй максимум с меньшей эффективностью (но выше средней) соответствует площадям конвертов $1650 \text{ м}^2 < S_{\text{конв}} < 4800 \text{ м}^2$, а максимум эффективности достигается при $S_{\text{конв}} = 2210 \text{ м}^2$ – размер квадрата $47 \times 47 \text{ м}^2$. Второй максимум по экономической эффективности превышает первый в 25 раз при потере точности всего лишь на 25 %.

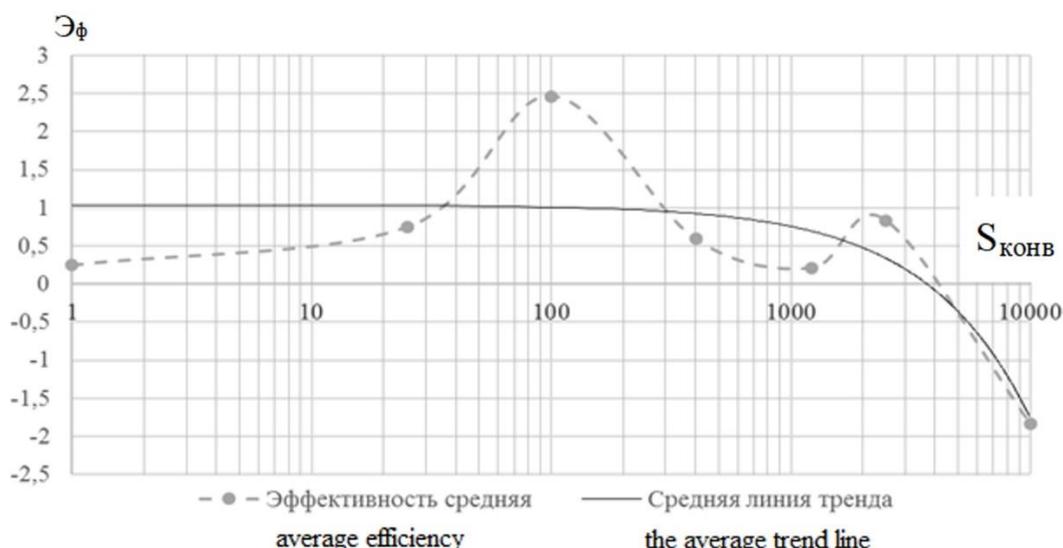


Рис. 3. Зависимость эффективности результатов эколого-геохимических исследований от площади «конверта». [Fig. 3. Dependence of the effectiveness of the results of ecological and geochemical studies on the area of the «envelope».]

Следует отметить, что важным элементом эколого-геохимических оценок является схема опробования. Опробование представляет собой основной метод изучения источников загрязнения окружающей среды. Его целью является получение достоверных данных о составе и особенностях загрязняющих веществ.

Согласно результатам статистической обработки, подтверждается эффективность реализации схемы – одна пробная площадка почв и грунтов должна характеризовать участок площадью 1 га.

При инженерно-экологических изысканиях под рекультивацию стихийных свалок нередко используется кольцевая система опробования, которая характеризует экологическое состояние почв и грунтов в некоем линейном контуре. Например, для одной из свалок в пределах г. Санкт-Петербурга подобные исследования реализованы по контуру. Информация по состоянию почв и грунтов в пределах участка проектирования практически отсутствует. При этом даже в осуществленной схеме опробования получены результаты с весьма высокими уровнями загрязнения. Так, по элементам 1 класса опасности – бенз(а)пирену (рис. 4) и

мышьяку (рис. 5) – зафиксированы превышения по северному контуру величин ПДК и ОДК от 3 для мышьяка и 75 для бенз(а)пирена.

Закономерным является предположить, что в пределах непосредственно площадки несанкционированной свалки уровни загрязнения почв и грунтов имеют более высокие значения, что должно быть учтено при выборе способа рекультивации. В особенности данное обстоятельство учитывается при выборе конструкции основания рекультивируемого объекта, формирования противофильтрационного слоя основания, либо его отсутствия.

Значимым элементом эколого-геологических исследований является категория оценок. Согласно [3], расчет суммарного показателя загрязнения основан на зависимости, предложенной Ю.Е. Саефом в 1969 г.:

$$Z_c = \sum(K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \quad (2)$$

где K_{ci} – коэффициент концентрации каждого химического элемента, равный кратности превышения его содержания над фоновым значением; n – число учитываемых в расчете элементов.



Рис. 4. Схема распределения содержания бенз(а)пирена в грунтах (интервалы 0.0–0.2 м, 0.2–1.0 м, 1.0–2.0 м). [Fig. 4. Scheme of distribution of benzo(a)pyrene content in soils (intervals 0.0–0.2 m, 0.2–1.0 m, 1.0–2.0 m).]



Рис. 5. Схема распределения содержания мышьяка в грунтах (интервалы 0.0–0.2 м, 0.2–1.0 м, 1.0–2.0 м). [Fig. 5. Scheme of distribution of arsenic content in soils (intervals 0.0–0.2 m, 0.2–1.0 m, 1.0–2.0 m).]

Данная формула была разработана с целью геологической съемки и основывалась на анализе комплекса валовых концентраций химических элементов. Отношение выявленных концентраций к фоновым значениям позволяло выявлять литохимические аномалии как возможный источник полезных ископаемых. В дальнейшем в процессе развития экологической геологии в методических разработках ЦРГЦ данный подход

был применен для эколого-геохимических оценок. Были разработаны оценочные критерии, определяющие состояние почв и грунтов от допустимых до чрезвычайно опасных [10].

При этом, в расчет принимаются только те элементы, концентрация которых превышает фоновые значения. Следует подчеркнуть, что использование для данных оценок валовых показателей значительно

снижает достоверность эколого-геологических оценок. Экологически эффективными являются водно-растворимые формы элементов, которые мигрируют в разрезе, проникая в водоносные горизонты, а также двигаются по трофическим цепям, проникая на разные уровни экологической пирамиды. Обоснованность данного подхода обусловлена так же особенностями химического анализа валовой формы химических элементов, который представляет собой сложный процесс их вывода из связанного состояния. Водно-растворимая форма элементов мигрирует в природных условиях в естественном диапазоне температур и влажности.

Использование зависимости Ю. Е. Саета при эколого-геохимических оценках усугубляется ошибками в нормативных документах. Так в [11, п.6.7], в приведенной формуле не учтен очень важный ее элемент, определяющий ее применимость только для элементов, превышающих фоновые значения. В результате происходит подмена оценок, при которой чрезвычайно опасные грунты переходят в категории умеренно опасных.

Заключение

Проведенные исследования методических подходов при эколого-геохимической оценке почв и грунтов позволяют сделать следующие выводы:

1. Базовые методические подходы, формирующие систему эколого-геохимических исследований, дифференцировали размеры пробных площадок и количество проб для получения усредненной пробы. В качестве размеров площадок рассматривались варианты 1×1 и 10×10 м. Плотность опробования для фоновых участков составляла 3–4, для антропогенно измененных – 12–15 проб с одной площадки. В современные нормативные документы вошла цифра 5 проб с одной площадки.

2. Согласно результатам статистической обработки, подтверждается эффективность реализации схемы – одна пробная площадка почв и грунтов должна характеризовать участок площадью 1 га.

3. Статистическая обработка данных измерений показала, что максимальная эффективность измерений достигается при размерах площадей конвертов: 50×50 м²; 10×10 м². При этом с экономической точки зрения возможен конверт размерами 50×50 м² при незначительном ухудшении точности измерений.

4. Необходимо акцентирование в нормативных документах проведения площадных, а не линейных эколого-геологических исследований в пределах техногенно-нагруженных территорий.

5. «Методические указания 2.1.7. Почва. Очистка населенных мест. Бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почв» должны быть откорректированы в части экологических оценок состояния почв по расчету суммарного показателя загрязнения. В настоящем виде их применение неправомерно.

6. При проведении эколого-геохимических оценок целесообразным является замена валовых форм элементов на водно-растворимые, что позволит давать более достоверные оценки по влиянию геохимических показателей почв и грунтов на состояние экосистем различного уровня организации.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крутских Н. В., Косинова И. И. Методика трансформации природной среды по результатам эколого-геохимических исследований (На примере г. Петрозаводск) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2014. № 3. С. 95–97.
2. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982.
3. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
4. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2018.
5. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018.
6. Косинова И. И., Гуман О. М., Бударина В. А., Ильяш В. В. Методы эколого-геологических исследований и рациональное недропользование. М.: Изд-во «Научная книга», 2022. 348 с.
7. ГОСТ 17.4.3.03-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. М.: Стандартинформ, 2008.
8. Косинова И. И., Кустова Н. Р. Теория и методология геоэкологических рисков // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2008. № 2. С. 189–197.
9. Базарский О. В., Косинова И. И., Фонова С. И. Математическое моделирование загрязнения приповерхностных отложений аэрозольными частицами // *Инженерные изыскания*. 2015. № 5–6. С. 76–9.
10. СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М.: Минстрой России, 2021. 17 с.
11. МУ 2.1.7.730-99. Методические указания 2.1.7. Почва. Очистка населенных мест. Бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почв. М.: Федеральный центр госэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.

Ecological and geochemical studies: problems and improvement of the methodology

©2023 I. I. Kosinova^{1✉}, V. A. Budarina¹, O. V. Bazarskiy¹,
I. M. Ignatenko², Zh. Yu. Kochetova³

¹*Voronezh State University, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018, Voronezh, Russian Federation*

²*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russian Federation*

³*Military Training and Research Center of the Air Force Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin, 54A Stary Bolshevikov str., 394064, Voronezh, Russian Federation*

Annotation

Introduction: Ecological and geochemical studies are the main elements of engineering and environmental research. The methodology for their implementation is historically associated with geochemical research for prospecting and the exploration of mineral deposits. Modern regulatory documents contain several fundamental errors that do not allow a reliable ecological and geochemical assessment of territories. The purpose of this research was the analysis of existing methodological approaches in environmental and geochemical studies, aimed at the improvement and elimination of existing errors.

Methodology: The studies included a retrospective assessment of existing approaches, full-scale modeling of density and sampling networks for environmental and geochemical studies, and statistical processing of the data obtained. The statistical analysis of the accuracy of environmental and geochemical measurements for various envelope sizes was performed and its optimal dimensions were determined.

Results: As a result of the research, it was revealed that the existing soil sampling methodology is statistically reliable with an envelope size of up to 100×100 m². The optimal size of the envelope according to the criteria of measurement accuracy and economic costs is 10 × 10 m², which corresponds to methodological recommendations. The ultimate measurement accuracy depends on the accuracy of the device. The second extremum was determined with an envelope size of 47 × 47 m², which in terms of measurement accuracy loses to the optimal case by only 25%, but in terms of economic costs it provides a gain of 25 times, that is 4 "envelopes" per hectare. A fundamental error was revealed in the ecological and geochemical assessments of soils associated with the use of the formula of Yu. E. Saet in a reduced volume.

Finding: The practical significance of the conducted research allows to substantiate the main methodological approaches when conducting environmental and geochemical studies: the optimal dimensions of envelopes are 10×10 m², 47×47 m²; sampling density is 1 site per 1 ha; for the calculation of the total pollution indicator, only concentrations that exceed the maximum permissible values should be taken into account.

Keywords: methodology, features, ecological and geochemical assessments, sites, size, density, sampling, process, research, criteria.

For citation: Kosinova I. I., Budarina V. A., Bazarskiy O. V., Ignatenko I. M., Kochetova Zh. Yu. Ecological and geochemical studies: problems and improvement of the methodology // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya –Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 3, pp. 124–132. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/124-132>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Irina I. Kosinova, e-mail: Kosinova777@yandex.ru

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Krutskih N. V., Kosinova I. I. Metodika transformacii prirodnoj sredy po rezul'tatam ekologo-geohimicheskikh issledovaniy (Na primere g. Petrozavodsk) [Methods of transformation of the natural environment based on the results of ecological and geochemical studies (On the example of Petrozavodsk)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2014, no. 3, pp. 95–97 (In Russ.)
2. *Metodicheskie rekomendacii po geohimicheskoy ocenke zagryazneniya territorii gorodov himicheskimi elementami* [Methodological recommendations for the geochemical assessment of urban pollution with chemical elements]. Moscow, IMGRE publ., 1982 (In Russ.)
3. Saet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P. *Geohimiya okruzhayushchej sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, Nedra publ., 1990, 335 p. (In Russ.)
4. *GOST 17.4.3.01-2017. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [Soil. General requirements for sampling]. Moscow, Standartinform publ., 2018 (In Russ.)
5. *GOST 17.4.4.02-2017. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo i gel'mintologicheskogo analiza* [Soil. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological and helminthological analysis]. Moscow, Standartinform publ., 2018 (In Russ.)
6. Kosinova I. I., Guman O. M., Budarina V. A., Il'yash V. V. *Metody ekologo-geologicheskikh issledovaniy i racional'noe nedropol'zovanie* [Methods of ecological and geological research and rational subsoil use]. Moscow, Scientific book publ., 2022, 348 p. (In Russ.)
7. *GOST 17.4.3.03-85. Ohrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k metodam opredeleniya zagryaznyayushchih veshchestv* [Nature conservation. Soil. General requirements for methods for determining pollutants]. Moscow, Standartinform publ., 2008 (In Russ.)
8. Kosinova I. I., Kustova N. R. *Teoriya i metodologiya geoeologicheskikh riskov* [Theory and methodology of geoeological risks]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2008, no. 2, pp. 189–197 (In Russ.)
9. Bazarskiy O. V., Kosinova I. I., Fonova S. I. *Matematicheskoe modelirovanie zagryazneniya pripoverznostnyh otlozhenij aerosol'nymi chasticami* [Mathematical modeling of pollution of near-surface sediments by aerosol particles]. *Inzhenernye izyskaniya – Engineering surveys*, 2015, no. 5–6, pp. 76–79 (In Russ.)
10. *SP 502.1325800.2021. Inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva* [Engineering and environmental surveys for construction]. Moscow, Ministry of Construction of Russia publ., 2021, 17 p. (In Russ.)
11. *MU 2.1.7.730-99. Metodicheskie ukazaniya 2.1.7. Pochva. Ochistka naseleennyh mest. Bytovye i promyshlennyye othody, sanitarnaya ohrana pochv* [Guidelines 2.1.7. Soil. Cleaning of populated areas. Household and industrial waste, sanitary protection of soils]. Moscow, Federal Center of Gossanepidnadzor of the Ministry of Health of the Russian Federation publ., 1999, 38 p. (In Russ.)

Косинова Ирина Ивановна, д.г.-м.н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kosinova777@yandex.ru; ORCID 0000-0002-5439-5197

Бударина Виктория Александровна, к.ю.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: budarinav@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8091-0730

Базарский Олег Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: arhangelskaya49@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2851-716X

Игнатенко Игнат Михайлович, к. т. н., доцент, директор института наук о Земле Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, Российская Федерация; e-mail: ignatenko_i@bsu.edu.ru; ORCID 0000-0002-9676-5774

Кочетова Жанна Юрьевна, д.г.н., доцент Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: zk_vva@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8838-9548

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Irina I. Kosinova, Dr. habil in Geol.-Min., Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: kosinova777@yandex.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5439-5197>

Victory A. Budarina, PhD in Law, Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: budarinav@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8091-0730

Oleg V. Bazarskiy, Dr. habil in Phys.-Mathem., Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: arhangelskaya49@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2851-716X

Ignat M. Ignatenko, PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Earth Sciences of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Belgorod, Russian Federation; e-mail: ignatenko_i@bsu.edu.ru; ORCID 0000-0002-9676-5774

Zhanna Yu. Kochetova, Dr. habil in Geograp., Military Training and Research Center of the Air Force Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin, Voronezh, Russian Federation; e-mail: zk_vva@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8838-9548

Authors have read and approved the final manuscript.