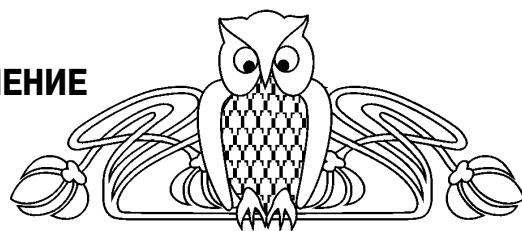




УДК 504.53.062.4

БИОГЕННАЯ МИГРАЦИЯ Cd, Pb, Ni И As В СИСТЕМЕ «ПОЧВА–РАСТЕНИЯ» И ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ

Е.В. Плешакова^{1,3}, М.В. Решетников², Е.В. Любунь³,
А.Ю. Беляков¹, О.В. Турковская³



Саратовский государственный университет,

¹ кафедра биохимии и биофизики биологического факультета

E-mail: plekat@rambler.ru

² лаборатория геоэкологии и экологической геохимии геологического факультета

³ Учреждение Российской академии наук Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, Москва

Изучены роль сельскохозяйственных растений в миграции Cd, Pb, Ni и As в системе «почва–растение» и их вклад в снижение металлотоксикоза почвы. Исследовано влияние тяжелых металлов и мышьяка на ферментативную активность чернозема южного и восстановление биологической активности почвы в процессе убыли этих элементов из почвы при выращивании растений.

Ключевые слова: тяжелые металлы, фитоаккумуляция, биологическая активность почвы, дегидрогеназа, пероксидаза.

Biogenic Migration of Cd, Pb, Ni, and As in the «Soil–Plant» System and Change in Soil Biological Activity

E.V. Pleshakova, M.V. Reshetnikov, E.V. Lyubun,
A.Yu. Belyakov, O.V. Turkovskaya

The role of agricultural plants in the migration of Cd, Pb, Ni, and As in the soil-plant system and their contribution to decreasing soil metal toxicosis were studied. The influence of heavy metals and arsenic on the enzyme activity of southern chernozem and the restoration of soil biological activity during the elimination of these elements from planted soil were investigated.

Key words: heavy metals, phytoaccumulation, soil biological activity, dehydrogenase, peroxidase.

В биосферу Земли поступает более 500 тыс. химических веществ – продуктов техногенеза, большая часть которых аккумулируется в почве. Особое место среди них занимают тяжелые металлы (ТМ), которые по степени опасности уступают только пестицидам и значительно опережают такие широко известные загрязнители, как двуокись углерода и серы [1].

К антропогенным источникам загрязнения почв ТМ относятся продукты сгорания топлива, отходы металлообрабатывающей промышленности, промышленные выбросы, автомобильные выхлопные газы, средства химизации сельского хозяйства. Ежегодно сжигается до 5 млрд т горючих ископаемых. Почти все металлы можно найти в золе угля и нефти, порой в концентрациях, которые экономически оправдывают извлечение их из золы. Поскольку к настоящему времени добыто более 130 млрд т угля и 40 млрд т нефти, то

вместе с золой поступили на поверхность Земли миллионы тонн металлов, значительная часть которых аккумулирована в верхних горизонтах [2]. Предприятия цветной и черной металлургии ежегодно выбрасывают соединения Cu – более 150, Zn – 120, Pb – около 90, Ni – 12, Mo – 1,5 тыс. т, а Co – около 800, Hg – 30 т. Отходы машиностроительных и химических производств содержат соединения Pb – до 1, Cu – до 3, Cr, Fe, Mn и Ni – до 10 г/кг. С выхлопными газами в течение года на поверхность почв попадает более 250 тыс. т свинца. В результате деятельности человека содержание металлов в почвах может превышать их естественные концентрации в сотни и тысячи раз.

По мнению ученых, единственной возможностью сберечь биосферу является сохранение естественного биотического механизма регуляции окружающей среды, т.е. естественных биологических сообществ в неосвоенном человеком состоянии [3]. Таким образом, одними из актуальных проблем современности являются изучение биогеохимических циклов миграции химических элементов в системе «почва–растение» и сравнительный анализ биологической активности почвы с целью выявления изменений этой активности в агроценозах.

ТМ оказывают негативное воздействие на состав, свойства почвы и на ее плодородие. Прежде всего, оно сказывается на почвенной биоте и почвенно-поглощающем комплексе почв. Причины негативного влияния ТМ на биологические свойства почв заключаются в том, что эти металлы, связываясь с сульфгидрильными группами белков, с одной стороны, подавляют синтез белков, в том числе и их ферментов, с другой – изменяют проницаемость биологических мембран, что приводит к нарушению обмена веществ. Под действием ТМ происходят нарушения в структуре почвенного микробиоценоза, наблюдается снижение численности отдельных агрономически ценных групп микроорганизмов [4]. ТМ ингибируют процессы минерализации и синтеза различных веществ в почвах, подавляют дыхание почвенных микроорганизмов, вызывают микробиостатический эффект, могут выступать как мутагенный фактор. ТМ оказывают угнетающее воздействие на ферментативную активность почвы [5–8].

Поступая из почвы в растения и передаваясь по цепям питания, ТМ оказывают токсическое действие на растения, животных и человека [9]. Наиболее опасными среди ТМ считаются ртуть,



кадмий, свинец, никель и мышьяк [10]. Различные химические формы мышьяка, соединения хрома (VI), никеля (II) известны как канцерогены человека; соединения бериллия, кадмия – возможные канцерогены. Нервная система является мишенью практически для всех токсичных металлов. Есть данные, свидетельствующие о токсическом действии металлов на репродуктивную систему человека [1].

В Российской Федерации площадь загрязненных ТМ земель достигла более 70 млн га, из них около 1 млн га имеют чрезвычайно опасный уровень загрязнения [2]. В стране необходимы срочные меры по снижению уровня загрязнения ТМ, поэтому оценка их биогенной миграции в системе «почва–растение» и разработка эффективных способов очистки почв в России очень актуальна.

В настоящее время существуют различные способы восстановления загрязненных ТМ земель, среди которых технологии, основанные на использовании растений-гипераккумуляторов, являются наиболее экономичными, эффективными, деликатными по отношению к живой природе и эстетически привлекательными [11, 12]. Важной характеристикой почвенных агроценозов является биологическая активность очищенных почв, что будет являться доказательством восстановления почвенного плодородия, нарушенного под воздействием ТМ.

Цель настоящей работы состоит в изучении биогенной миграции ТМ и мышьяка в системе «почва–растение». В ходе работы оценивались влияние ТМ и мышьяка на активность почвенных ферментов и динамика этих показателей в процессе удаления ТМ из почвы при культивировании опытных растений. Решалась задача по отбору растений, которые могут быть использованы для снижения токсической нагрузки ТМ и мышьяка и улучшения качества почв.

Материалы и методы

В модельных экспериментах по отработке технологии фиторемедиации загрязненных ТМ почв использовали чернозем южный, суглинистый, отобранный в Саратовской области, со следующими гранулометрическими характеристиками: частицы >5 мм – 1,8%; <5 – >3 мм – 4,2%; <3 – >1 мм – 10,0%; <1 – >0,5 мм – 11,5%; <0,5 – >0,25 мм – 19,0%; <0,25 мм – 53,6%. Чернозем южный содержал: 0,9% общего органического углерода, 6,3 мг/кг NO_3^- , 59,3 мг/кг NH_4^+ , 156 мг/кг подвижного P_2O_5 , рН почвы (солевой) 7,2. Таксономическая принадлежность почв приводится в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв СССР» [13] с учетом региональных особенностей [14].

Перед экспериментом почву высушивали до воздушно-сухого состояния, удаляли крупные включения и просеивали через сито с диаметром

ячеек 5 мм. По 2 кг почвы помещали в 2-литровые пластиковые вегетационные сосуды, увлажняли до 50% полной влагоемкости растворами солей ТМ в расчетных концентрациях по металлу, мг/кг почвы: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ – 480; $\text{CdCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ – 7,5; $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 60; $\text{Na}_3\text{AsO}_4 \times 12\text{H}_2\text{O}$ – 50. Концентрации соответствовали 15 ПДК для каждого из металлов. Почву выдерживали в течение суток для равномерного распределения загрязнителя.

В данном эксперименте применялась технология фитоэкстракции – выращивание в течение определенного периода времени на загрязненной почве специально подобранных видов растений для извлечения корневой системой ТМ из почвы и максимального концентрирования их в наземной биомассе. В качестве фиторемедиантов использовали следующие растения: суданскую траву (*Sorghum sudanense* (Piper.) Stapf.) сорта «Саратовская 1183»; райграс пастбищный или многолетний (*Lolium perenne* L.); рапс яровой сорта «Веймар» (*Brassica napus* L.); сорго зерновое (*Sorghum safronum* L.) «Саратовское-75»; подсолнечник однолетний (*Helianthus annuus* L.) сорта «Саратовский 20». Все семена генерации 2007 года получены из коллекции ГНУ НИИ Юго-Восток (Саратов). Семена всех растений перед посевом предварительно калибровались, а дефектные удалялись. Для всех растений, кроме подсолнечника, посев осуществлялся во влажную почву из расчета 25 семян на сосуд. Подсолнечник засеивали из расчета 10 семян на сосуд. Через 14 сут после посева осуществляли прореживание всходов, оставляя по 15 растений на сосуд для всех видов, кроме подсолнечника, которого оставляли по 4 растения на сосуд.

Культивирование растений проводили в течение 10 недель в вегетационных сосудах в контролируемых условиях: температура 23–25°C, световой период 14/10 ч (день/ночь), интенсивность освещения 8 тыс. люкс и влажность почвы на уровне 50% от полной влагоемкости почвы. Каждый вариант опыта повторяли по 3 раза. В качестве контроля использовали чистую почву с растениями и без них и загрязненную почву без растений.

В ходе исследований изучали воздействие ТМ на активность почвенных ферментов: дегидрогеназ и пероксидаз [15]. Дегидрогеназную активность почвы определяли колориметрически на КФК-2 по восстановлению бесцветного субстрата 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида, который, акцептируя мобилизованной дегидрогеназой водород, превращался в 2,3,5-трифенилформазан, имеющий красную окраску. Пероксидазную активность оценивали методом Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой колориметрически на КФК-2 по окислению гидрохинона, который под действием пероксидазы в присутствии кислорода перекиси водорода превращался в 1,4-*n*-бензохинон, имеющий желтую окраску.



Остаточные концентрации Pb, Cd и Ni в почве определяли методом атомной абсорбции на спектрофотометре Квант-2АТ. Валовые формы извлекались путем химического разложения почв кипячением с HNO₃ (1 : 1). Мышьяк определяли на ФЭК-2 с предварительным разложением проб смесью HNO₃ и H₂SO₄ и при откачке мышьяковистого водорода. Погрешности определения: Pb, Ni, Cd – 10%; As при концентрации < 5 мг/кг – 18%, при > 5 мг/кг – 10%.

Математическую обработку полученных данных выполняли с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2003.

Результаты и обсуждение

Известно, что почвы не только связывают загрязнители, но и выступают как природный буфер, контролирующий перемещение химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу, живое вещество [9]. По способности связывать ТМ почвы образуют следующий ряд: серозем > чернозем > дерново-подзолистые почвы. В настоящих экспериментах мы использовали чернозем южный – наиболее типичный для региона Саратовской области.

Экспериментальные растения были выбраны на основании анализа литературных данных и ранее проведенных собственных исследований.

Данные растения были толерантны к высоким концентрациям металлов, способны к поглощению и аккумуляции нескольких металлов одновременно в высоких концентрациях и эффективному транспорту из корневой системы в надземную пожинаемую биомассу, отличались высокой скоростью роста и большой биомассой, имели глубоко разрастающуюся корневую систему. Как было установлено, выбранные растения характеризовались следующими максимальными показателями по сравнению с другими видами: всхожестью семян, энергией прорастания, средней площадью листовой пластины, суммарным содержанием хлорофиллов а и b. Кроме того, все растения районированы в Средневолжском и Нижневолжском регионах России, их агротехнология хорошо разработана.

В ходе экспериментов были обнаружены различия по снижению содержания ТМ в почве (рис. 1). В ряду исследованных металлов свинец максимально элиминировал из почвы под воздействием фиторемедиационных приемов. Через 2,5 месяца культивирования растений содержание свинца снизилось на 32–50% по сравнению с исходным значением, максимальное снижение (примерно на 50%) наблюдалось в варианте с рапсом, минимальное – с сорго. В почве с суданской травой, подсолнечником и райграсом убыль свинца в загрязненной почве составила около 40%.

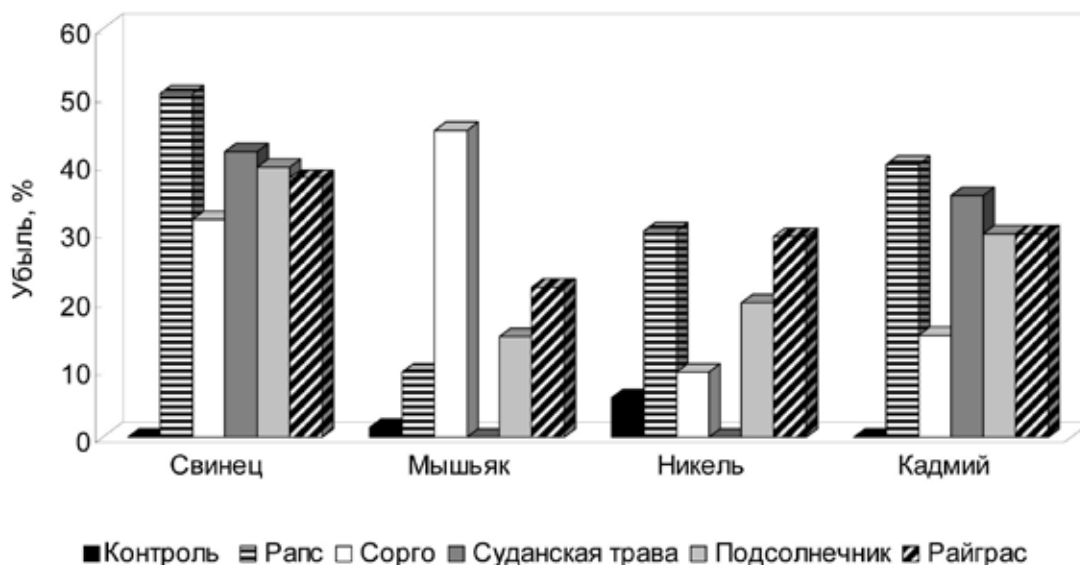


Рис. 1. Убыль тяжелых металлов из почвы в процессе фиторемедиации

Содержание кадмия в ходе очистки снизилось менее заметно, чем свинца, однако обнаруживались сходные тенденции. Так, максимальная убыль наблюдалась в почве при выращивании рапса (40%), минимальная – в варианте с сорго (15%), при культивировании райграса, подсолнечника и суданской травы убыль составила 30–35%. Содержание никеля после фиторемедиации снизилось в среднем от 10 до 30%, за исклю-

чением варианта с суданской травой, в котором остаточное содержание никеля практически не изменилось по сравнению с исходным уровнем. Наибольшее снижение никеля наблюдалось при культивировании рапса и райграса – около 30%, при выращивании подсолнечника и сорго – на 20 и 10% соответственно.

Результаты, противоположные вышеописанным, были отмечены при оценке убыли мышьяка



из почвы. В варианте максимальная убыль мышьяка составила примерно 45%, культивирование в загрязненной почве суданской травы не оказало никакого влияния на снижение концентрации мышьяка в почве. Рапс, который эффективно снижал содержание свинца, кадмия и никеля в почве, оказал наименьшее воздействие на снижение мышьяка по сравнению с другими растениями. Выращивание подсолнечника и райграса способствовало убыли мышьяка на 15 и 22% соответственно.

Важно отметить, что в загрязненной почве без растений-фиторемедиантов снижения уровня свинца и кадмия не наблюдалось, а убыль мышьяка и никеля была незначительной – 1,3 и 5,7%. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности очистки почв от ТМ с помощью исследованных растений.

При попадании ТМ в почву часто происходят глубокие изменения ее биологических свойств, что, в свою очередь, замедляет рост и развитие растений, снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Поэтому технологии ремедиации почв, загрязненных ТМ, должны восстанавливать и возвращать почвы в сельскохозяйственный оборот.

Значительную роль в вовлечении ТМ и мышьяка в биогенную миграцию играют корневые выделения растений. Через корневые выделения растения взаимодействуют с микроорганизмами ризосферы, благодаря активной жизнедеятельности которых улучшается общее состояние почвенного ценоза. Исходя из вышесказанного, нами исследовалась ферментативная активность почвы после культивирования растений. Известно, что ни один биологический процесс в почве не совершается без участия широко распространенных у почвенных микроорганизмов ферментов дегидрогеназ, которые катализируют реакции дегидрирования органических веществ и выполняют функцию промежуточных переносчиков водорода. Дегидрогеназы характеризуют общую метаболическую активность почвенной микрофлоры и способность почвы к самоочищению [16].

В исходной чистой почве дегидрогеназная активность составляла 0,435 мкл H_2 /г за 24 ч; через 3 сут после загрязнения почвы ТМ наблюдалось ее снижение на 10–20%, исключением является загрязнение мышьяком (рис. 2). Через 2,5 месяца почвенные дегидрогеназы под влиянием ТМ ингибировались еще заметнее: в 4,5–7 раз во всех образцах. Как следует из полученных данных, максимальное ингибирующее действие на активность почвенных дегидрогеназ оказал никель, минимальное – кадмий. В чистой почве дегидрогеназная активность также снизилась по сравнению с исходным содержанием примерно в 2 раза, что может быть связано с израсходованием субстратов для дегидрогеназ в ходе длительного эксперимента.

Было установлено, что культивирование всех опытных растений стимулировало активность дегидрогеназ в почве с ТМ. При выращивании суданской травы дегидрогеназная активность была в среднем в 2,6 раза, сорго, райграса и подсолнечника – примерно в 3,7 раза; рапса – в 4,5 раза выше, чем в загрязненной почве без растений. При выращивании подсолнечника дегидрогеназная активность почвы через 2,5 месяца очистки от никеля была даже выше, чем в исходной чистой почве. Минимальное стимулирующее действие растений на активность дегидрогеназ проявлялось в условиях загрязнения почвы мышьяком и свинцом, что свидетельствовало о высокой токсичности данных металлов. В то же время в загрязненной свинцом почве при культивировании всех растений наблюдалась достоверная обратная корреляция (коэффициент корреляции $R^2 = 0,5107$) между активностью дегидрогеназ в почве и остаточным содержанием в ней свинца. Это свидетельствовало об уменьшении токсического влияния данного ТМ на дегидрогеназы.

В ходе экспериментов были обнаружены видовые различия растений по оптимальному восстановлению активности дегидрогеназ в почве, загрязненной различными ТМ. В почве, содержащей свинец, максимальную стимуляцию дегидрогеназной активности обеспечивало сорго, мышьяк и кадмий – рапс и райграс, никель – рапс и подсолнечник. В целом рапс следует выделить как растение, стимулирующее активность дегидрогеназ в почве, загрязненной ТМ с разным уровнем токсичности для данных ферментов. Такое действие рапса может быть связано с «ризосферным эффектом», при котором в его прикорневой зоне увеличивается численность микроорганизмов, в том числе и продуцирующих дегидрогеназы. Данное предположение подтверждается наблюдаемой в настоящих экспериментах повышенной активностью дегидрогеназ в чистой почве при культивировании именно рапса.

Ферменты пероксидазы осуществляют окисление органических веществ почв (фенолов, аминов, некоторых гетероциклических соединений) за счет кислорода перекиси водорода и других органических перекисей. Они выполняют защитную функцию, обезвреживая перекиси и разлагая ароматические ксенобиотики в почве, а также играют важную роль в процессе образования гумуса [17]. Активность почвенных пероксидаз, которые в отличие от дегидрогеназ имеют преимущественно растительное происхождение, в исходной чистой почве составляла 0,42 мг *n*-бензохинона; через 3 сут после загрязнения почвы ТМ наблюдалось ингибирование данных ферментов на 16–27% (рис. 3). Как показали результаты исследований, через 2,5 месяца пероксидазная активность почвы, загрязненной кадмием, восстановилась до исходных значений чистой почвы; мышьяком, никелем и свинцом – осталась на пониженном уровне, наблюдаемом через 3 сут после внесения

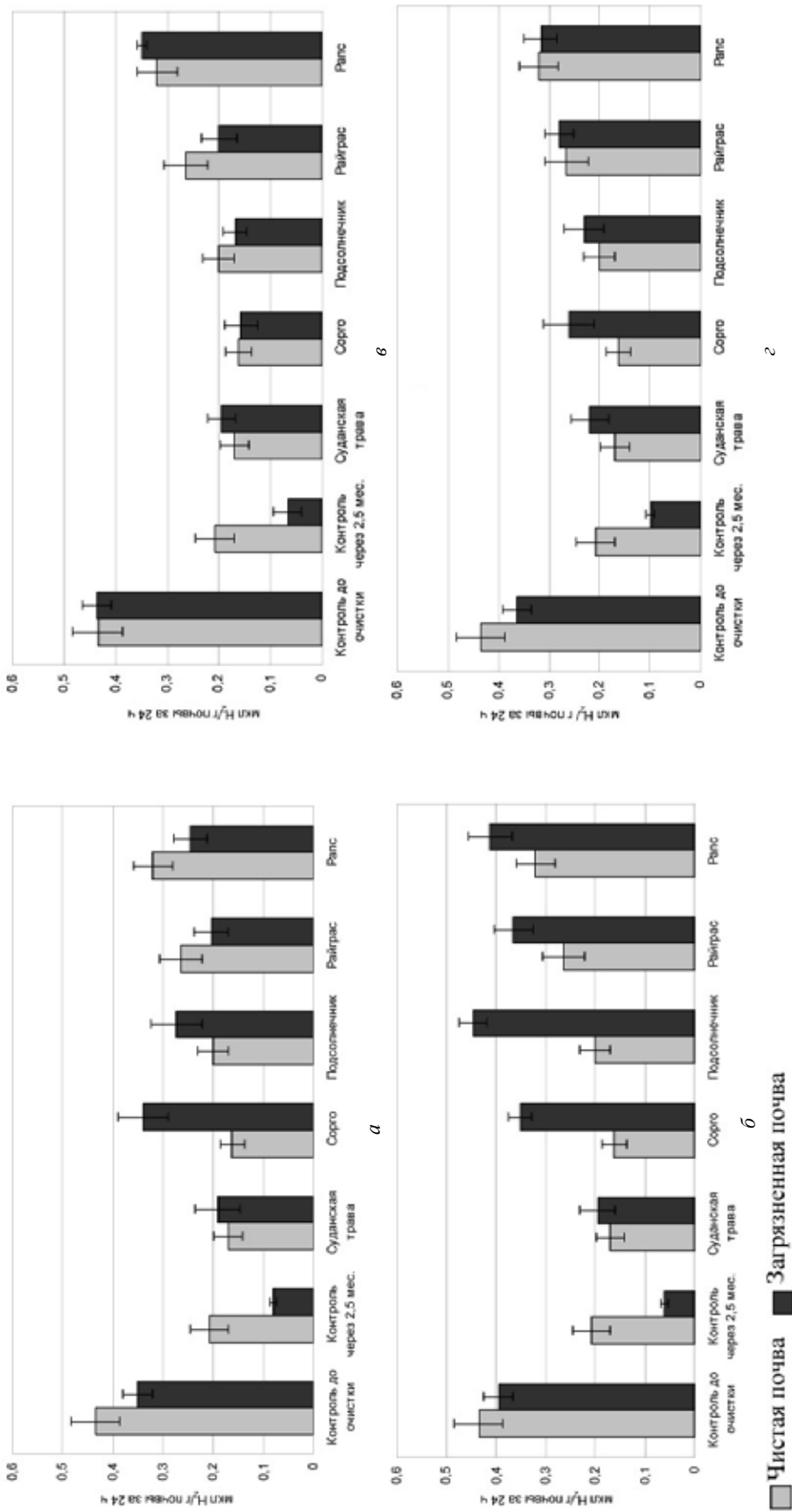


Рис. 2. Активность дегидрогеназы в загрязненной тяжелыми металлами (а – Pb; б – Ni; в – As; г – Cd) почве при культивировании опытных растений

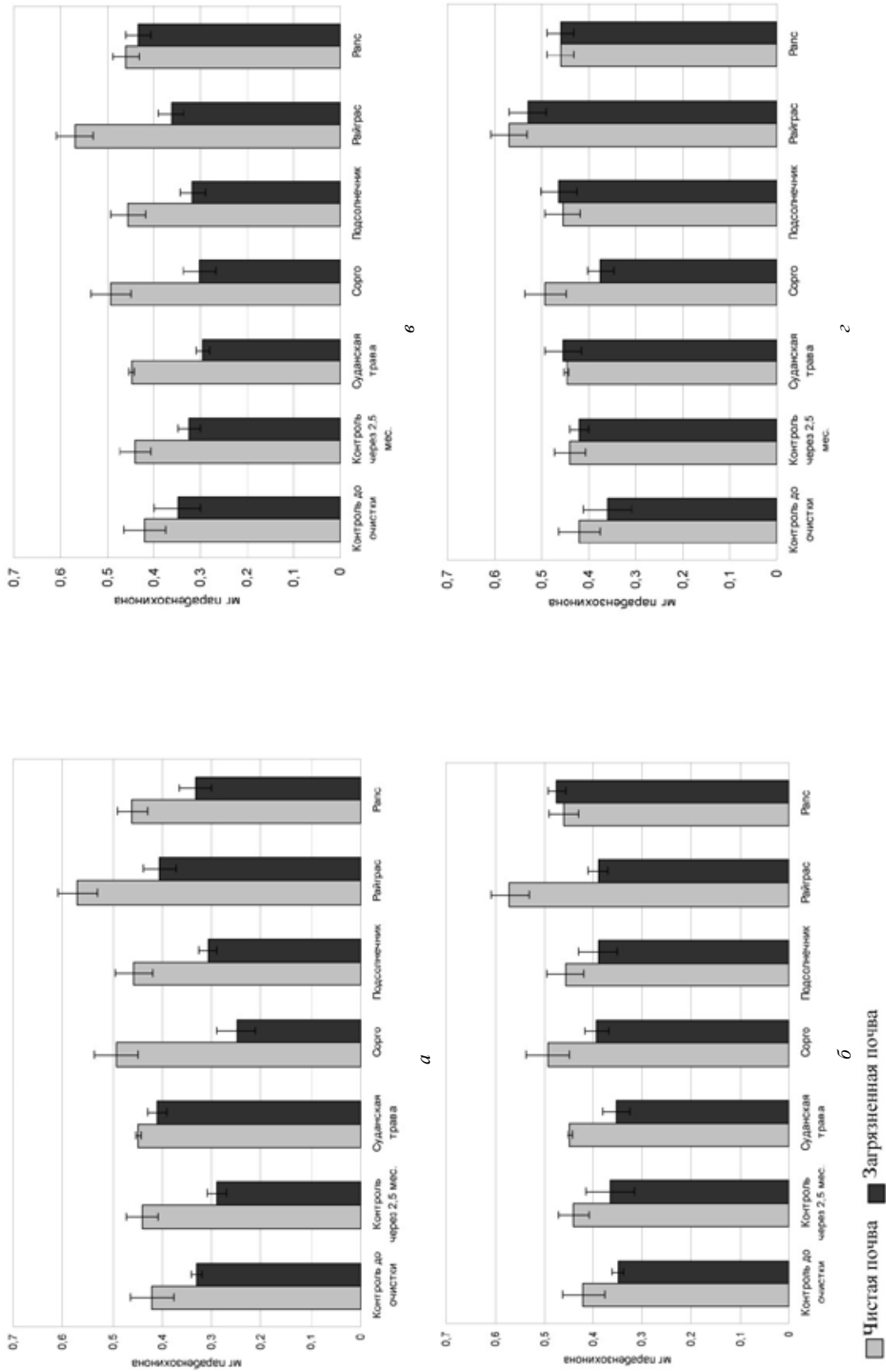


Рис. 3. Активность пероксидаз в загрязненной тяжелыми металлами (а – Pb; б – Ni; в – As; г – Cd) почве при культивировании опытных растений



токсикантов. Наиболее выраженное ингибирующее действие на активность почвенных пероксидаз оказал свинец – через 2,5 месяца их активность снизилась еще заметнее.

Культивирование опытных растений в большинстве случаев стимулировало активность пероксидаз в почве с ТМ. Известно, что контакт корней растения с поллютантами индуцирует активность растительных пероксидаз и их экскрецию в почву [18]. При выращивании райграса и рапса стимуляция наблюдалась во всех вариантах. При культивировании райграса максимальное увеличение по сравнению с загрязненной почвой без растений обнаруживалось в почве со свинцом и кадмием – на 40 и 26% соответственно, при культивировании рапса – в почве с мышьяком и никелем – на 33 и 30% соответственно. Подсолнечник стимулировал активность пероксидаз в загрязненной почве на 6–10%, исключение составляли почвы с мышьяком, суданская трава – на 34% в почве со свинцом и на 8% в почве с кадмием. Сорго не оказывало заметного стимулирующего влияния на активности пероксидаз в почве. При загрязнении почвы кадмием показатели активности пероксидаз приближались к значениям в чистой почве при культивировании всех растений, за исключением сорго. Значительная обратная корреляция (коэффициент корреляции $R^2 = 0,9182$) выявлялась между активностью пероксидаз в почве и остаточным содержанием в ней никеля, что свидетельствовало о восстановлении пероксидазной активности с уменьшением ингибирующего действия никеля.

Обнаруженные видовые различия растений по оптимальному восстановлению активности пероксидаз в почве, загрязненной различными ТМ, выглядели следующим образом. В почве со свинцом максимальную стимуляцию пероксидазной активности обеспечивали райграсс и суданская трава, с мышьяком – рапс и райграсс, никелем – рапс, кадмием – райграсс.

В целом райграсс выделяется как растение, привносящее наиболее заметный вклад в общий пул почвенных пероксидаз, вероятно, за счет стимуляции собственных внутриклеточных пероксидаз, что положительно влияет и на активность пероксидаз в загрязненной почве. Рапс – растение, способствующее восстановлению исходной пероксидазной активности, которая снизилась при внесении в почву ТМ.

Заключение

Проведенные нами исследования показали, что загрязнение почвы кадмием, никелем, свинцом и мышьяком в концентрации 15 ПДК оказывало ингибирующее воздействие на почвенные окислительно-восстановительные ферменты, выполняющие важные функции в почве и характеризующие ее биологическую активность и плодородие.

Использование растений (суданская трава, райграсс пастбищный, рапс яровой, сорго зерновое и подсолнечник однолетний) для очистки почвы от ТМ стимулировало активность дегидрогеназ во всех вариантах загрязненной почвы, пероксидаз – во многих вариантах, что коррелировало с убылью загрязнителей и свидетельствовало об интенсификации процессов восстановления почвы.

Показано, что максимальная убыль ТМ (свинца, кадмия и никеля) наблюдалась в почве при культивировании рапса. Рапс яровой, как показали исследования, наибольшим образом стимулировал активность дегидрогеназ и пероксидаз в почве. Содержание мышьяка в почве заметно снижалось при культивировании сорго зернового.

Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей работы по биогеохимическому районированию Саратовской области, а также при разработке природоохранных мероприятий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (госконтракт № 02.512.11.2210).

Библиографический список

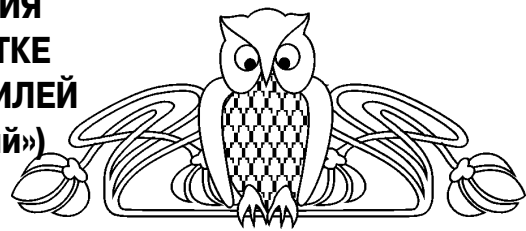
1. Токсикологическая химия: Учебник для вузов / Под ред. Т.В. Плетеневой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005. 512 с.
2. Садовникова Л.К., Орлов Д.С., Лозановская И.Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 2006. 335 с.
3. Лосев К.С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития в России в XXI веке. М.: Космосинформ, 2001. 400 с.
4. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 256 с.
5. Hemida S.K., Omar S.A., Abdel-Mallek A.Y. Microbial populations and enzyme activity in soil treated with heavy metals // Water, Air and Soil Pollution. 1997. Vol. 95, № 1–4. P. 13–22.
6. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного // Экология. 2000. № 3. С. 193–201.
7. Mikanova O., Kubat J., Mikhailovskaya N. et al. Influence of heavy metal pollution on some soil biological parameters in the alluvium of the Litavka river // Rostlinna Vyroba. 2001. Vol. 47, № 3. P. 117–122.
8. Murata T., Kanao-Koshikawa M., Takamatsu T. Effects of Pb, Cu, Sb, Zn and Ag contamination on the proliferation of soil bacterial colonies, soil dehydrogenase activity, and phospholipid fatty acid profiles of soil microbial communities // Water, Air and Soil Pollution. 2005. Vol. 164. P. 103–118.
9. Радомская В.И., Моисеенко Н.В. Влияние осадков сточных вод на поведение тяжелых металлов в системе почва – растение // Агрохимия. 2006. № 11. С. 77–78.
10. Martin M., Richards M.J. PCB and heavy metal soil remediation, former boat yard, South Dartmouth, Massachusetts // Intern. J. Soil, Sediment and Water. 2009. Vol. 2, № 1. P. 1–5.



11. Lasat M.M. Phytoextraction of toxic metals. A review of biological mechanisms // J. Environ. Quality. 2002. Vol. 31. P. 109–120.
12. Галиулин Р.В., Галиулин Р.А., Кочуров Б.И. Фитоэкстракция почв и промышленных сточных вод, загрязненных тяжелыми металлами: концептуальная модель технологий фитоэкстракций, фито- и ризофилтрации // Экологические системы и приборы. 2004. № 2. С. 24–33.
13. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 220 с.
14. Болдырев В.А., Пискунов В.В. Полевые исследования морфологических признаков почв: Учеб. пособие. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2006. 60 с.
15. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
16. Dick R.P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health // Biological indicators of soil health / Eds. C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V. Gupta. Wallingford: CABI Publ., 1997. P. 121–156.
17. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 448 с.
18. Квеситадзе Г.И., Хатисаишвили Г.А., Садуншвили Т.А., Евстигнеева З.Г. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях. М.: Наука, 2005. 199 с.

УДК [550.83]

ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГРАВИМАГНИТНЫХ ДАННЫХ ПРИ ОТРАБОТКЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ (на примере профиля «Уварово-Свободный»)



М.И. Рыскин, Е.Н. Волкова, К.Б. Сокулина

Саратовский государственный университет,
кафедра геофизики
E-mail: riskinmi@yandex.ru

В статье рассматриваются результаты геологической интерпретации материалов, полученных при отработке регионального профиля «Уварово-Свободный» протяженностью 376 км. В процессе интерпретации использованы комплексные гравимагнитные построения. Выделены новые и подтверждены ранее известные тектонические элементы, уточнено положение разделяющих их границ.

Ключевые слова: аномалия, гравиразведка, магниторазведка, прогиб, антеклиза, грабен, геопотенциальное поле, комплексный параметр, кристаллический фундамент, максимум, минимум, плутон, региональный профиль.

Geological-Tectonic Interpretation of Gravity-Magnetic Information in Development of Regional Geophysical Profiles (for Example: the Profile «Uvarovo-Svobodnyi»)

M.I. Ryskin, E.N. Volkova, K.B. Sokulina

The article deals with the results of geological interpretation of geophysical data received during traversing («Uvarovo-Svobodny» line, the length is 376 km). Integrated gravitomagnetic installations alongside were applied during the process of interpretation. The new tectonic elements were found, and previously found tectonic elements were confirmed. More accurate information about location of the border separating the mentioned tectonic elements was obtained.

Key words: anomaly, gravitational exploration, geomagnetic survey, flexure, anticline, graben, geopotential field, complex parameter, crystalline foundation, maximum, minimum, pluton, regional profile.

Основными положениями федеральных программ развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации с 1994 года в качестве

целевой задачи предусматривается создание государственной сети опорных геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин. В состав геофизических работ рекомендовано включать глубинные сейсмические и электромагнитные зондирования, а также аэромагнитные и гравиметрические исследования [1]. Однако последние проводились далеко не всегда. Между тем роль гравимагнитной информации в решении задач, которые ставятся при отработке подобных региональных профилей, весьма значительна, поскольку целеполагание их состоит в установлении основных закономерностей глубинного геологического строения нефтегазоносных бассейнов и горнорудных районов, а также в определении особенностей их тектоники. Известно, что эти закономерности и особенности обусловлены, прежде всего, вертикально-блоковой структурой кристаллического фундамента, а вертикально-блоковые модели лучше всего поддаются изучению именно геопотенциальными методами. При этом в поле силы тяжести более адекватное отображение находит рельеф поверхности фундамента, т.е. выступы (горсты) и впадины (грабены), тогда как магнитное поле более чувствительно к неоднородностям его внутренней структуры. В обоих полях четко проявляют себя линейными градиентными сгущениями изолиний глубинные разломы. В то же время выявление таких элементов геологического строения в волновом поле и на кривых электрозондирований представляет собой довольно сложную проблему. В работе [2], посвященной проблемам комплексной интерпретации геофизических данных по региональным профилям, отмечается, что гра-