

Copyright © 2018 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7316
2018, 5(2): 159-196

DOI: 10.13187/bgt.2018.2.159
www.ejournal19.com



Nature-Similar Technologies of the Biogeosystem Technique in Solving a Global Social and Environmental Problem

Alexey P. Glinushkin ^a, Valery N. Kudeyarov ^{a, b}, Michael S. Sokolov ^{a, *}, Vladimir E. Zinchenko ^c, Vladimir V. Chernenko ^d

^a Russian Scientific-Research Institute of Phytopathology, Big Vyazemy, Russian Federation

^b Institute of Physical-Chemical and Biological Problems of Soil Science of Russian Academy of Science, Puschino, Russian Federation

^c Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet, Russian Federation

^d Institute of Fertility of Soils of South Russia, Persianovka, Russian Federation

Abstract

Soil fertility is associated with the soil health, which determines the environment-forming (ecological) functions of the terrestrial-soil ecosystem – biological quality of products, and minimized eco- and sociosphere eco-toxic load. In the current conflict of the biosphere and technogenesis, it is important to avoid the increasing evolutionary risks associated primarily with the negative consequences of the global socio-environmental problem. For this a predictable co-evolution of technosphere (noosphere) and biosphere is the most acceptable way out. In this regard, the development of fundamentally new nature-similar solutions and technologies in relation to balance – pools, drivers, fluxes – of the most important biophilic elements (carbon and other) is relevant. Today, the ability to control the carbon cycle in agrosphere is very limited. In addition, the data on this balance calculated via different models differ significantly. Apparently, it is most realistic to intensify carbon sink into the terrestrial-soil ecosystem. The technological potential for Balance enrichment of C capture and storage (BECCS) currently looks truncated due to traditional approach to ecosphere management. The nutrients (in particular, nitrogen) that are introduced into the soil in large quantities are largely eliminated from the root layer due to leaching and/or volatilization. In general, the agrogeochemical balance of NPK in the soils of Russia is very unfavorable, largely due to the systematic surplus exports of mineral fertilizers abroad. With the soil improvement and optimization of the most important crops mineral nutrition, the country in the nearest future can become a leader of the food exporters. It is necessary to rethink the interaction of socium with biosphere as well as with most important component of biosphere, the pedosphere. As a new development paradigm, “Biogeosystem Technique” was proposed – an innovative scientific and technological direction as a framework of nature-similar algorithms, technologies and technical solutions. One of this is a soil aggregates and biogeochemical cycle management in order to create the nature-similar biogeosystems with transcendental properties. The principle proposed of soil reclamation via the milling of illuvial horizon (layer 20–45 cm), which ensures the growth of agrocenosis productivity and achieving the consistently high economic indicators for a long period. A new nature-similar water strategy of Biogeosystem Technique is proposed – the intra-soil continual-discrete humidification paradigm. In the supply phase, water is

* Corresponding author

E-mail addresses: sokolov34@mail.ru (M.S. Sokolov)

injected into the soil in a controlled dose, distributed in a vertical primary moistening cylinder at a depth of 10–40 cm. Subsequently, moisture from the primary moistening cylinder is redistributed by capillary, film, and vapor transfer. The proposed humidification technology eliminates the loss of water, its negative excess effect on the soil and agrolandscape, typical for standard irrigation. A nature-similar technology for mineral and organic wastes recycling has been proposed and substantiated, ensuring (simultaneously with a 20–45 cm layer intra-soil milling) the in-situ synthesis of meliorating and fertilizer substances. The developed artificial geophysical aggregate system ("soil – waste") is a priority recycling substrate. As a result, the phytoimmune status of the soil is optimized, its bioremediation is ensured, and a phytosanitary situation in the agrophytocenosis is improved. Thus, the controlled coevolutionary intensification of the agrosphere by the methods of Biogeosystem Technique will ensure an effective implementation of the state strategic programs for development of nature-similar technologies. This will improve the quality of life of the population, and a real solution to the global socio-environmental problem will provide the additional biofuels, raw materials and food production, the sustainability of biosphere will be increased by implementation of biodiversity saving, agriculture biologizing, and soil-protective strategy.

Keywords: conflict of biosphere and technogenesis, global socio-ecological problem, soil, health, biogeochemical cycle, Biogeosystem Technique.

1. Введение

Облигатные природные ресурсы – почва, пресная вода, тропосфера и ФАР – определяют качество жизни социума, суверенитет и продовольственную безопасность страны. При этом роль почвы является первостепенной. Качество почвы принято характеризовать плодородием и здоровьем. Именно от здоровья почвы, от её средообразующих, экологических функций зависят: а) стабильное производство продовольствия, б) минимизация экотоксикантной нагрузки на эко- и социосферу.

В течение последних 20–25 лет характер земледелия России можно характеризовать как экстенсивный, поскольку формирование урожаев сельскохозяйственных культур обеспечивается на 80–90 % за счет почвенного плодородия, которое в силу ничтожно малого применения удобрений (минеральных и органических) неуклонно истощается, что ведет к питательной деградации почв. А внедрение в производство высокоэффективных средств защиты растений и новых сортов сельскохозяйственных культур при дефиците питательных веществ в почвах не дает должного эффекта. Если оптимизировать минеральное питание сельскохозяйственных культур сбалансированным применением удобрений и поддерживать здоровье почвы, страна в ближайшей перспективе может стать лидером экспортеров продовольствия (Кудяров и др., 2017). Опасные для перспективы цивилизации результаты современного техногенеза требуют переосмысления путей взаимодействия социума с биосферой, и её важнейшим компонентом – педосферой.

Текущий конфликт биосферы и техногенеза общепризнан общественностью и мировым научным сообществом. Необходимо улучшить понимание значимости почвы, воды в условиях нарушения биогеохимических циклов, что приводит к накоплению загрязнителей в водах, почвах, атмосфере, чтобы получить надлежащий подход к управлению качеством почвы, состоянием климата (Glazko, Glazko, 2015), здоровьем компонентов экосферы (Arnold, 2014; Соколов и др., 2015; Hering, 2018). Восстановление деградированной почвы – сложный длительный процесс, причём это далеко не всегда возможно в принципе (Kalinina et al., 2015). Весьма важно избежать эволюционных рисков, вероятность и неопределённость которых возрастает по мере современного эволюционирования экосферы (Cheshko et al., 2014).

2. Воспроизводство ресурсов биосферы

2.1. Приоритет стратегического подхода к расширенному воспроизводству ресурсов биосферы

Приоритет приобретают стратегические подходы к решению фундаментально-прикладных проблем, затрагивающих интересы практически всего населения Земли. Важнейшая проблема декларирована ещё в документах Рио-92 – глобальная социально-экологическая проблема (ГСЭП), суть которой – исчерпание, деградация, порча жизненно

важных природных ресурсов (биотических, материальных) в процессе техногенеза. ГСЭП – следствие переоценки возможностей научно-технического прогресса на его текущем, не соответствующем природе биосферы индустриальном этапе, а также игнорирование социумом (до недавнего времени!) необходимости *коэволюции* техносферы (ноосферы) и биосферы. Признаками этого этапа являются достаточно прямолинейные, даже во многих случаях примитивные попытки копирования некоторых внешних проявлений закономерностей природы. Цель подобных попыток – извлечение краткосрочных экономических предпочтений без учета отклика компонентов биосферы на подобные возмущения. В итоге – экспансия худших процессов техносферы, переэксплуатация ресурсов современной биосферы. Для решения ГСЭП, поиска выхода из создавшейся кризисной ситуации взаимовлияния цивилизации, технологии и биосферы требуется развитие междисциплинарного научно-технологического подхода, разработка методологии принципиально новых природоподобных решений и технологий.

Имеют перспективу инновационные подходы, конкретные предложения и решения, обсуждаемые и частично апробированные на протяжении последних лет ([Калиниченко, 2016](#)), соответствующие современным принципам рационального использования почвенных ресурсов, декларируемых ФАО ([FAO SOILS PORTAL, 2018](#)).

2.2. Преодоление ГСЭП

Конференция ООН по проблемам окружающей среды (Стокгольм, 5–16 июня 1972 года), после которой в мире установлен Всемирный день окружающей среды 5 июня, Конференция ООН по окружающей среде и развитию Рио-92 (Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года), Конференция ООН по устойчивому развитию Рио+20 (20–22 июня 2012 года) выразили согласие мирового сообщества по поводу жизненной необходимости изменить парадигму развития цивилизации. Однако декларировать устойчивое развитие, ориентацию на зеленую экономику далеко недостаточно для получения значимых результатов развития на этом новом пути ([FAO, 2015](#)). Потому в выступлении Президента РФ в ООН в 2015 году декларирована необходимость развития природоподобных технологий, что отражено в Указах Президента РФ № 642 от 1.12.2016 года, № 204 от 7.5.2018 года, обозначивших большие вызовы стратегического развития страны и мира. С точки зрения сохранения и воспроизводства биосферы актуальны следующие вызовы: 1) возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан; 2) потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе, преодоление дисциплинарных и отраслевых границ в исследованиях и разработках, особенно применительно к мегаэкологии в целом, включая лечение и сбережение наших почв.

Значительная часть культивируемых почв страны, их плодородие и здоровье сегодня находятся в кризисном состоянии. Эти почвы нуждаются в ремедиации, улучшении и лечении ([Кудеяров и др., 2017](#)). Преодоление кризиса плодородия и здоровья почв следует базировать на мегаэкологии, объединяющей естественные и социальные сферы и системы, такие как: «геоэкосистема», «биоэкосистема», «антропоэкосистема», «социоэкосистема», «педосфера», «глобальная экосистема» (то есть, биосфера!).

Критически важно осмысливать природоподобный технологический подход с позиции, которую предлагает «биосферология» (*biosphere doctrine*) – фундаментально-прикладное научное направление о возникновении, эволюции, структуре, механизмах функционирования и устойчивости биосферы ([Яблоков и др., 2015](#); [Глинушкин и др., 2016](#)). В XXI веке биосферология – теоретический фундамент созидательной, максимально непротиворечиво встроенной в окружающую среду деятельности человечества – часть научно-технического прогресса, направленная на практически значимые глобальные, региональные и локальные преобразования экосферы, а также на обеспечение единства природоохранной и экономической эффективности ресурсосберегающих, малоотходных и безотходных технологий. У истоков биосферологии как глобального научного направления

стоял наш великий современник, ученый-энциклопедист, глобальный эволюционист, натуралист-мыслитель Владимир Иванович Вернадский (Соколов, 2013).

Движущими силами эволюции биосферы в ноосферу выступает триада факторов: а) абиотические – геологические, космические, б) биотические – генетическая изменчивость, борьба за существование, естественный отбор, в) антропогенные, ведущий из которых техногенез; его масштабы во многом превзошли по объёму нарушенного вещества аналогичные природные биогеохимические процессы.

2.3. Козволюция социума и биосферы – альтернатива истощительной эксплуатации почвенного покрова

Триединая ГСЭП в полной мере характеризует кризисное состояние почв и России, и большинства стран планеты. Академик Г.В. Добровольский (2012) констатировал: «... деградация почвенного покрова Земли – её педосферы – продолжается, ... не последнюю роль в этом играет недостаточное понимание реальности глобальной угрозы процесса деградации почв, ведущего к нарушению сложившегося устойчивого функционирования биосферы, в котором живёт всё человечество и всё живое на земной суше».

Почва как уникальная глобальная полифункциональная экосистема в последние годы утрачивает основные свойства – продукционные, средообразующие и биоресурсные. Изначально утрачивая присущую ей экологическую устойчивость, она нуждается в срочном лечении.

Скорость разложения опада и других органических продуктов, поток органического вещества в верхний слой почвы (как часть зоны аэрации) через зону аэрации в природно-территориальный комплекс, водный режим ландшафта интенсивно меняются во времени и в зависимости от типа ландшафта (Ford et al., 2011; Thurman, 1985; Popovskaya et al., 2011; Kaiser et al., 2002; Spencer et al., 2012; Qualls, 2016). Водно-растворимое органическое вещество составляет небольшую (0,005–0,1) часть органического вещества почвы, но в то же время является его наиболее мобильным компонентом. Природопользование влияет на состав водно-растворимого органического вещества почвы (Kalbitz, 2001; Laudicina et al., 2013). Молекулярный состав водно-растворимого органического вещества в почве меняется в зависимости от сезона, но его содержание в поровой воде почвы, просачивание сквозь почву и зону аэрации остаются высокими в течение каждого сезона (Kaiser et al., 2002).

Водно-растворимое органическое вещество сильно влияет на эволюцию почвы – накапливается в виде лабильного органического вещества или вымывается из экосистемы, легко вовлекаясь в процесс переноса сквозь почву (Kalinichenko et al., 2018). Это вызывает неопределенность в оценках круговорота углерода и питательных веществ (Uselman et al., 2012).

Профильная и латеральная миграция органического вещества почвы вносит значительную неопределенность в оценку региональных балансов углерода (Qualls, 2016; Zubrzycki et al., 2013; Post et al., 2018). Содержание органического вещества в почве снижается в большинстве сельскохозяйственных экосистем, что существенно влияет на их многочисленные функции (Garratt и др. 2018). При этом важнейшей является временная динамика свойств почвы как отражение её важнейших экосистемных функций. Однако этому аспекту почвенных экосистем пока уделяют очень мало внимания (Schlüter, Vogel, 2016). Потому и в России, и за рубежом данная проблема не только кардинально не решается, а с каждым годом усугубляется.

По разнообразию *микробного генофонда* почва – самый богатый субстрат планеты (Звягинцев и др., 2005). В этой связи при развитии природоподобных технологий следует учитывать опасность ложного эгоистичного антропоцентрического императива – завышенной самооценки возможностей человечества. Ведь в природе известны экосистемы, состоящие из одних микроорганизмов, известны также экосистемы, состоящие из микроорганизмов и высших организмов, но нет экосистем, включающих только высшие организмы – растения и животных. Так что человечеству не следует позиционировать себя в духе близкой нам византийской традиции в биосфере по-царски, а искать, найти и обустроить в биосфере собственную скромную нишу (Bohle, 2017; Bohle, Erle, 2017). Скромность здесь означает не размер ниши, а подход к её созданию. Если стратегический подход выработан на основании квалифицированной эвристической интуиции, то есть

удачен, то и ниша как результат гармоничной коэволюции человечества, технологии и биосферы может быть неизмеримо больше, чем мы имеем сейчас в противостоянии с биосферой (Соколов и др., 2018).

Микробобиота даёт ведущий вклад в генезис и генофонд здоровой почвы как благоприятной природной среды для горизонтального переноса кластеров генов прокариотов – трансмиссивных плазмид. Этот феномен, по-видимому, является важным фактором адаптации, эволюции и видообразования прокариотной микробобиоты. Причём вполне возможно, также и более сложных организмов.

Наконец, природной (изначально здоровой) почве принадлежит двуединая роль в поддержании биоразнообразия геобионтов. Биомасса разнообразной микрофлоры здоровой, окультуренной почвы достаточно велика: масса бактерий и грибов почвы пастбища умеренной зоны России оценивается, соответственно, в 1–2 и 2–5 т/га (Глинушкин и др., 2016). Иная ситуация с почвами традиционных агроценозов (с однолетними культурами): состояние их здоровья и иммунный статус зависят от степени чистоты (незагрязнённости вредными агентами) и функционального состояния – гетеротрофной активности, самоочищающей способности, супрессивности, азотного обмена и других процессов (Семенов, Соколов, 2016; Соколов и др., 2010; Соколов, Глазко, 2015).

Мировому сообществу предложено настолько большое число показателей здоровья почв (Bloem et al., 2006; Burns et al., 2006), что это количество затрудняет их применение. К тому же, за обилием второстепенных деталей остаются без внимания трансцендентальные – естественные процессы (объекты) не имитирующие напрямую функции почвы, но при этом природоподобные по сути предоставляемых ими возможностей управления почвенным здоровьем и её продуктивностью.

Негативные результаты современного природопользования во многом обусловлены низким уровнем технологий, которые применяют в мире как в промышленности (плодящей опасные для экосферы отходы), так и в агропроизводстве. Очевидно, для решения ГСЭП и выполнения Указов Президента РФ [2016, 2018 гг.] актуальны принципиально новые технологии, стимулирующие биологический процесс в почвах, оздоравливающие их и, следовательно, активизирующие биосферу, повышающие ее биологический продукт и роль в качестве буфера всех систем Земли, включая климатическую систему. Для принятия адекватных решений необходимы сведения о балансе – пулах, драйверах и потоках – углерода и ведущих химических элементов (Соколов и др., 2018).

3. Биогеохимические циклы

На текущей стадии биогеохимических циклов Земли преобладают типичные для всего мира однонаправленные потоки вещества (по гидрографии и геологическим отложениям) с суши в мировой океан. Эоловым транспортом континентальный материал доставляется в пелагические области мирового океана. Питательные элементы с полей поступают на урбанизированные территории в виде продуктов питания и сырья, затем мигрируют тем же путём, что и все остальные потоки. В пределах современной биосферы интенсифицируются потоки веществ между средами (атмосфера, почвенно-растительные сообщества, водные объекты), выражающиеся в виде стоков и эмиссий газообразных веществ, включающих в себя как природные вещества, так и техногенного происхождения, среди которых немало загрязнителей. В числе многих поллютантов находятся главные биофильные элементы – углерод, азот, фосфор, сера.

Общим свойством текущих биогеохимических циклов Земли в твердой, жидкой, газообразной форме является их неопределенность и относительно малый поток вещества, особенно в сравнении с прошедшими геологическими эпохами.

Важнейший элемент биогеохимического цикла Земли – цикл углерода. Продолжительность оборота CO₂ в атмосфере Земли оценивают в 23 года (Carvalhais et al., 2014), CH₄ – 9 лет (Stocker, 2014). Варьирование текущего цикла углерода наблюдается в широких пределах как в отношении времени пребывания в атмосфере Земли, так и в аспекте потока. Это варьирование зависит от характера и стадии биогеосистемы. Если лес на начальных стадиях развития является стоком углерода, поскольку накапливает биомассу, то на стадии стагнации, наоборот – превращается в эмитента углерода, поскольку преобладает дегградация древостоя (Kudeyarov, 2015).

Антропогенная трансформация наземных систем влияет не только на эмиссию углерода из почвы, но в значительной степени и на её микробиологическую активность (Ananyeva et al., 2016).

Как в агропроизводстве, так и в природной обстановке возможности сегодня контролировать цикл углерода весьма слабые. Например, в лесах Аппалачей 78.2 % биомассы опада преобразуется в парниковые газы (Qualls, 2016). Эмиссия CO₂ из растительных остатков и почвы составляет преобладающую часть первичной продукции фотосинтеза на территории России (Рисунки 1, 2).

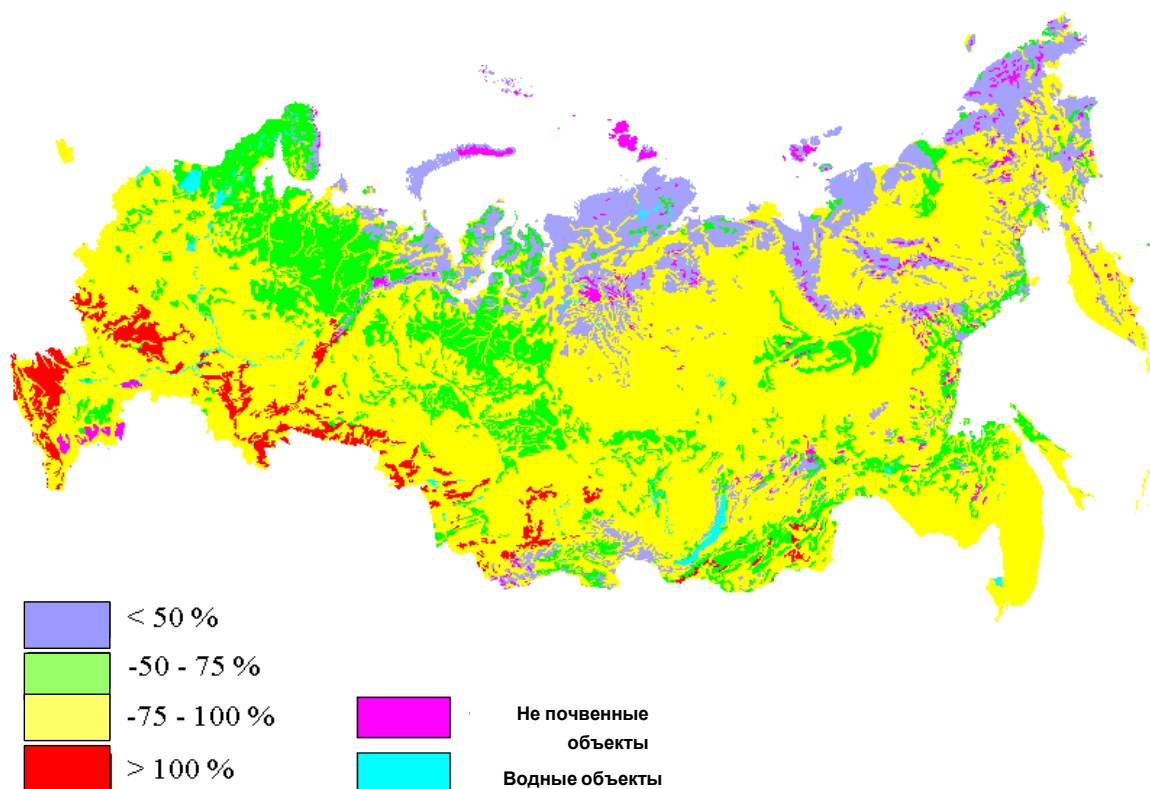


Рис. 1. Эмиссия CO₂ из почв в % от первичной продукции фотосинтеза на территории России

Красным выделены области с преобладанием пахотных угодий.



Рис. 2. Трансформация NPP сельского хозяйства на территории России

Следует иметь в виду, что некоторое повышение содержания CO_2 в атмосфере обеспечивает статистически достоверный эффект фертигации (Zhu et al., 2016; Schäfer et al., 2003), что показано нами экспериментально на примере тополя (*Populus deltoides*) (Barron-Gafford et al., 2005). Этот научный факт в тепличном хозяйстве уже давно используется как стандартный производственный приём, повышающий урожайность до 100 % и более (Hicklenton, Jolliffe, 1978; Thayer, 2017).

Растения, имеющие C_4 тип фотосинтеза, относительно недавно эволюционно приспособились к современному низкому содержанию углекислого газа в атмосфере Земли. Они положительно отзываются на повышение содержания CO_2 в атмосфере до 400 ppm. Растения с C_3 типом фотосинтеза, наиболее распространённые в современной биосфере и агрофере, дают положительный отклик продуктивности и при значительном большем содержании углекислого газа, до 2000 ppm (Акатов, 2013). Следует обратить внимание, что для человека норма содержания углекислого газа в атмосфере без ограничения жизнедеятельности составляет 600–1000 ppm (TehTab, 2017). Приведенные данные имеют простое объяснение – в биосфере прошлого содержание углекислого газа было значительно выше современного (Hileman, 2017), что обусловило адаптацию растений и животных на генетическом уровне, проявляющуюся до настоящего времени.

Повышение содержания углекислого газа в атмосфере сопровождается улучшением поглощения азота растениями (Ghannoum et al., 2000).

Ещё один важный результат повышения содержания углекислого газа в атмосфере – изменение характера регулирования устьичного аппарата. Поскольку условия снабжения растений углекислым газом улучшаются, ответной физиологической реакцией является уменьшение проводимости устьичного аппарата, что снижает расход воды на транспирацию (Le et al., 2011; Rascher et al., 2004).

Большее содержание углекислого газа в атмосфере, как полагают, обеспечит в перспективе прирост продовольствия и возобновляемой энергии (Wittwer, Strain, 2008; Kalinitchenko, 2017). Следовательно, небольшое увеличение содержания углекислого газа в атмосфере Земли обеспечивает существенное уменьшение содержания в ней более опасного, чем углекислый газ парникового газа – водяного пара. Это важное обстоятельство в переосмыслении упрощенного понимания стандартной задачи климатической инженерии (Urpelainen, 2012) – секвестра углерода из атмосферы Земли.

Реакция растений на повышение содержания CO_2 в атмосфере в виде уменьшения нормы транспирации даёт повод понизить оценку опасности засухи для растений под

влиянием вероятной ксеротизации климата (Swann et al., 2016; Lin et al., 2018). Показано, что продолжительность оборота углерода тесно связана с гидрологическим режимом суши (Carvalhais et al., 2014). Эти авторы указывают на значимость данного факта как условие корректной оценки вклада засушливых территорий в потоки и баланс углерода, тем самым ставятся под сомнение предпосылки работоспособности действующих моделей углеродного баланса и климата.

В настоящее время засушливые территории занимают более трети глобальной земной поверхности, почвы которой подвержены деградации. Поэтому баланс углерода в засушливых районах особо нестабилен – от поглощения углерода почвой до его эмиссии из почвы, причём изменение направления потока на противоположное наблюдается даже в течение коротких временных промежутков (López-Ballesteros et al., 2018; Gong et al., 2018). Этот высокий уровень изменчивости отрицательно влияет на органогенез растений, устойчивость климата, продуктивность агро- и биосферы в целом.

Цикл и потоки CH_4 в глобальном биогеохимическом цикле не менее неопределенны, чем цикл и потоки CO_2 (Carmichael et al., 2014; Atmospheric Methane, 2018). И столь же слабо поддаются регулированию несовершенными, доступными до настоящего времени приемами и технологиями, которые более ориентированы на паллиативное лечение экосферы, чем на принципиально новые кардинальные решения (Lizik et al., 2013). Цикл и потоки CH_4 и CO_2 могут быть противоположными на сопряженных элементах экотопа, а эмиссия и сток сменяют друг друга на коротких временных промежутках (Глаголев и др., 2012).

При техногенезе возрастает вероятность эмиссии CH_4 в атмосферу. Это деградирующие почвы и насаждения, свалки, продукты неполного сгорания, земли, орошаемые в рамках устаревших технологий ирригации. Особенно негативно за последние 5000 лет цивилизации в этом аспекте оценивают культуру затопляемого риса (Ruddiman, 2003), как и переувлажнение земель вообще, ведь с одной стороны, водно-болотные территории – искомый сток CO_2 (Кудеяров, 2018a), но с другой стороны – эмитент CH_4 . Однако сток углерода в болотных экосистемах значительно превалирует над эмиссией метана в атмосферу. Подтверждением тому являются громадные запасы торфов, с возрастом углерода в них до 10–12 тыс. лет.

Не менее важно для адекватной оценки перспективы производства и использования энергии в биосфере иметь в виду надежность параметров и ингредиентов, характер и качество моделей водного баланса, климата и других подсистем Земли. Современные модели углеродного баланса и климата весьма далеки от совершенства. Одна и та же модель может дать расчётное потепление климата Земли, но при самом небольшом изменении входных параметров на выходе модели обнаруживается противоположный результат – похолодание климата (Борисенков, Пичугин, 2001; Rothman, 2015).

Количественный учет динамики углерода органического вещества почвы, круговорота питательных веществ является сложной задачей ввиду неопределенности потоков и неустойчивости расчетных параметров (Uselman et al., 2012), причём подход к оценке содержания углерода в почве является неопределенным даже на уровне индикаторов и методов контроля содержания углерода в почве (Laudicina et al., 2013), включая дистанционные методы (Spencer et al., 2012). Методы дистанционного мониторинга и количественной оценки синтеза и переноса органического вещества из почвы в водные системы часто также дают неопределенные оценки (Han et al., 2017; Dunn et al., 2017; Van Zalinge et al., 2017; Thurman, 1985; Batjes, 2016; Hestir et al., 2015). Неконтролируемый перенос воды, минеральных и органических веществ является неблагоприятным следствием стандартного природопользования в различных экосистемах. Именно потому необходимо срочно разработать оптимальные варианты защиты и сбережения почвы (Altieri et al., 2018).

Ввиду сложности проблемы, неустойчивости объекта и несовершенства моделей, данные о балансе углерода следует постоянно уточнять (Kurganova и др., 2010), поскольку результаты расчета цикла углерода, полученные разными авторами и по разным моделям, существенно различаются (Dolman et al., 2012).

РФ обладает самыми большими площадями лесов и болот – основных поглотителей углерода, и является территорией чистого стока атмосферного CO_2 . Это актуально с позиции контроля состояния глобального баланса углерода, особенно в связи с техногенными

выбросами парниковых газов и изменением климата. Имеет место широкий разброс в оценках экосистемного стока CO₂. Это обусловлено преимущественно разнообразием методов оценки резервуаров, источников и стоков парниковых газов. По разным данным, чистый биогенный сток углерода на территории России составляет от 200-300 млн. т С/год до 1 Гт С/год, средняя из более чем 10 оценок – 714±260 млн. т С/год (Кудеяров, 2018a).

Международная инициатива «4 per 1000» (Sustainable Innovation Forum – SIF15), выдвинутая Францией 1 декабря 2015 года на COP 21 (21st Conference of Parties), является многообещающей, поскольку декларирует биологический секвестр углерода в почве (Minasny et al., 2017). Уместно увеличить поток углерода к сухопутным объектам его стока – почва, лес, защищенные лесом земли, водно-болотные угодья (Lal, 2016). Однако лучшие практики управления потоками и пулом углерода в почве не должны быть сосредоточены только на секвестре углерода из атмосферы (Lal, 2008), его необратимом захоронении в недрах (Lee et al., 2010).

Попытка добиться эффекта фиксации углерода посредством декарбонизации исходного сырья биомассы для производства водорода и получения отрицательного баланса выбросов CO₂ (Serrano et al., 2012) обернется избытком водяного пара в атмосфере после сжигания полученного таким путём водорода. Водяной пар является более опасным парниковым газом, чем CO₂.

Следует одновременно стимулировать глобальный баланс углерода и обогащение его биологической фазы. Потенциал технологической устойчивости секвестра и захоронения CO₂ (Balance enrichment of C capture and storage – BECCS) (Fajardy, Dowell, 2017) является усечённым в узких рамках сложившегося стандартного подхода к управлению экосферой. Поэтому возможности BECCS не могут быть реализованы в полном объеме. Неограниченный секвестр углерода из атмосферы может отрицательно повлиять на рост растений, и только тщательный подход к управлению органическим углеродом поможет избежать экологического риска (Wimde, 2018; Vanden Bygaart, 2018), обеспечить надежность оценок роли почвы в повышении продуктивности экосистем на местном и глобальном уровнях.

Пока же опираться на предложения о секвестре углерода путем закачки сжиженного из атмосферы углекислого газа в геологических отложениях, подземных льдах криолитозон (Lal, 2008), размещения недоступного разложению микроорганизмам биочара под слоем почвы (Lee et al., 2010) следует с осторожностью, иначе есть опасность получить преждевременное очередное оледенение, которых в Плейстоцене уже прошло три десятка, а в худшем случае – вообще утратить возможность продолжения жизни на Земле, поскольку она имеет углеродную основу.

Природопользование должно предусматривать компенсацию выбросов CO₂ в атмосферу с использованием кумулятивного потенциала секвестрации углерода почвой, фертигации растений за счет увеличения содержания CO₂ в атмосфере, повышения устойчивости водных систем в условиях изменения климата (Ford et al., 2011; Lal, 2004; Shelby et al., 2011).

Буферная емкость и биодоступность фосфора, калия и микроэлементов обусловлена химическим составом органического вещества почвы и скоростью их оборота в почве, или, если процесс переноса затронул зону аэрации, то и скоростью локального и общего гидрогеологического кругооборота (Helfenstein et al., 2018).

Важную роль в стабилизации и агрегации водно-растворимого органического вещества почвы играют карбонаты (Apesteguía et al., 2016; Virto et al., 2011), которые ингибируют потерю PO₄ из почвы (Qualls et al., 2009). Поэтому важно обеспечить геофизические предпосылки для успешной внутрипочвенной адсорбции углерода органического вещества почвы, фосфора и других питательных веществ, причём с одновременным эффектом ремедиации (Bech et al., 2014).

Согласно мировой статистике, за последние 40 лет на долю минеральных удобрений как компонента биогеохимического цикла приходилось 40 процентов прироста производства продовольствия (FAO, 2011). Минеральные удобрения стали ощутимой антропогенной составляющей глобального биогеохимического цикла биофильных элементов. Последствия нарушений естественных циклов биофильных элементов наиболее ярко проявляются в виде повышения миграционной активности растворимых соединений

азота, эвтрофикации природных вод, эмиссии закиси азота (N_2O) – значимого парникового газа. Нагрузка сельскохозяйственных угодий удобрениями и химическими средствами защиты растений увеличивается (FAO, 2015). Применение азотных удобрений в Западной Европе составляет от 40 кг (Португалия) до 500 кг/га (Нидерланды) (FAOSTAT, 2017).

Внесенные в почву питательные вещества не полностью используются растениями в силу применения устаревших промышленных технологий. В Китае коэффициент использования азотных удобрений под рис, пшеницу и кукурузу составляет 26–28 %, под овощные культуры – менее 20 % (Miao et al., 2011). Из внесенного в почву азота более 50 % в виде растворимых нитратов (NO_3) и газообразных соединений (N_2 , N_2O) загрязняют окружающую среду. В Евросоюзе в результате избыточного использования удобрений накопление азота в почве угрожает устойчивости 70 % природных биосистем (Hettelingh et al., 2008).

Высокопродуктивное товарное сельскохозяйственное производство представляет собой масштабную открытую биогеохимическую систему, на входе которой высокие дозы удобрений, обеспечивающие высокую урожайность культур, на выходе – агрогенные поллютанты, и загрязненная поллютантами товарная продукция, с которой отчуждаются большие объемы внесенных в почву и природных биофильных элементов.

Россия, на первый взгляд (Рисунок 3), находится в выигрышном положении, поскольку затраты удобрений на единицу продукции здесь пока минимальные. Но и объемы получаемой сельскохозяйственной продукции гораздо ниже потенциальных возможностей современных технологий производства продовольствия, что вынуждает страну импортировать продовольственные товары на многие миллиарды долларов США, реально угрожает её продовольственной безопасности.

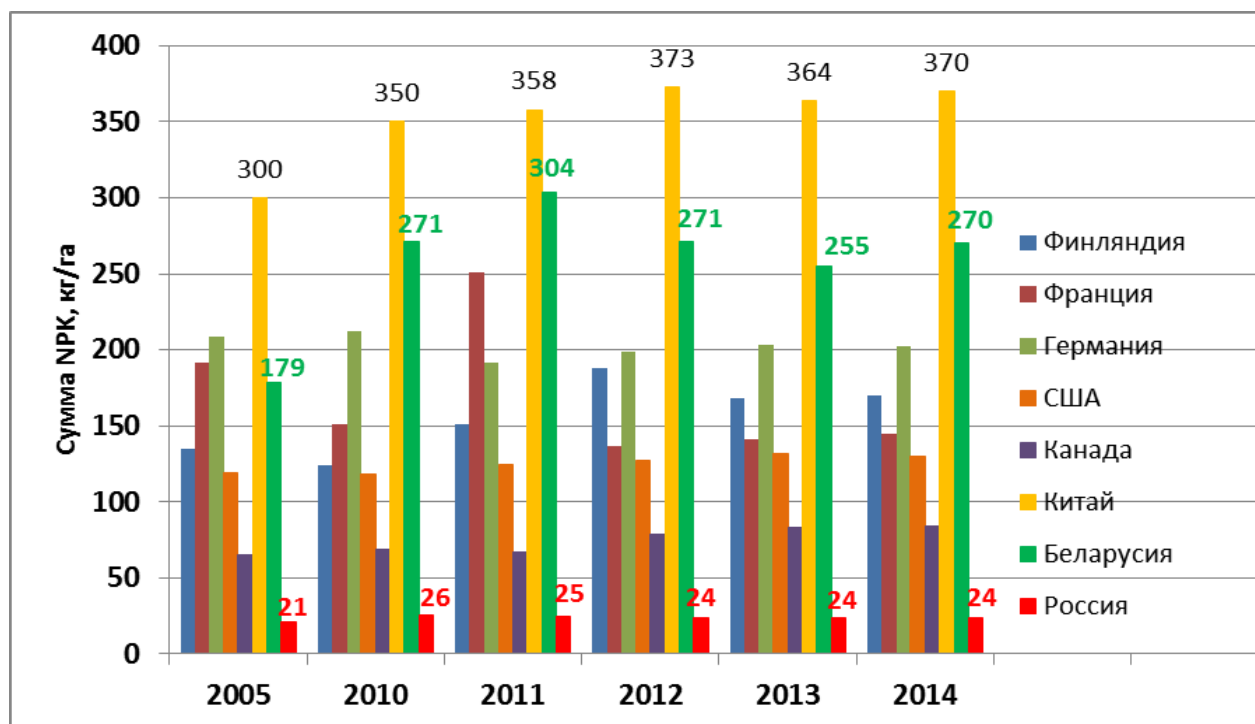


Рис. 3. Сравнительная обеспеченность минеральными удобрениями пахотных угодий России и некоторых стран мира

Тезис о низких затратах удобрений на единицу продукции мы критически переосмыслим ниже на новом уровне понимания природоподобных технологий.

3.1. Баланс питательных веществ в земледелии России

С позиций агрогеохимического цикла питательных элементов в подавляющем большинстве сельскохозяйственных ландшафтов России создается экстремально дефицитный баланс элементов минерального питания растений (Кудяров и др., 2017).

Мы являемся свидетелями уникального положения, когда страна выступает как один из крупнейших в мире производителей и экспортеров минеральных удобрений (Рисунок 4), а в земледелии России применяют ничтожно малое количество удобрений, вследствие чего, имея обширные сельскохозяйственные угодья, страна получает одни из самых низких урожаев. Это не удивительно, поскольку получение сельскохозяйственной продукции в России пока производится практически полностью за счет не очень богатого естественного плодородия почв.

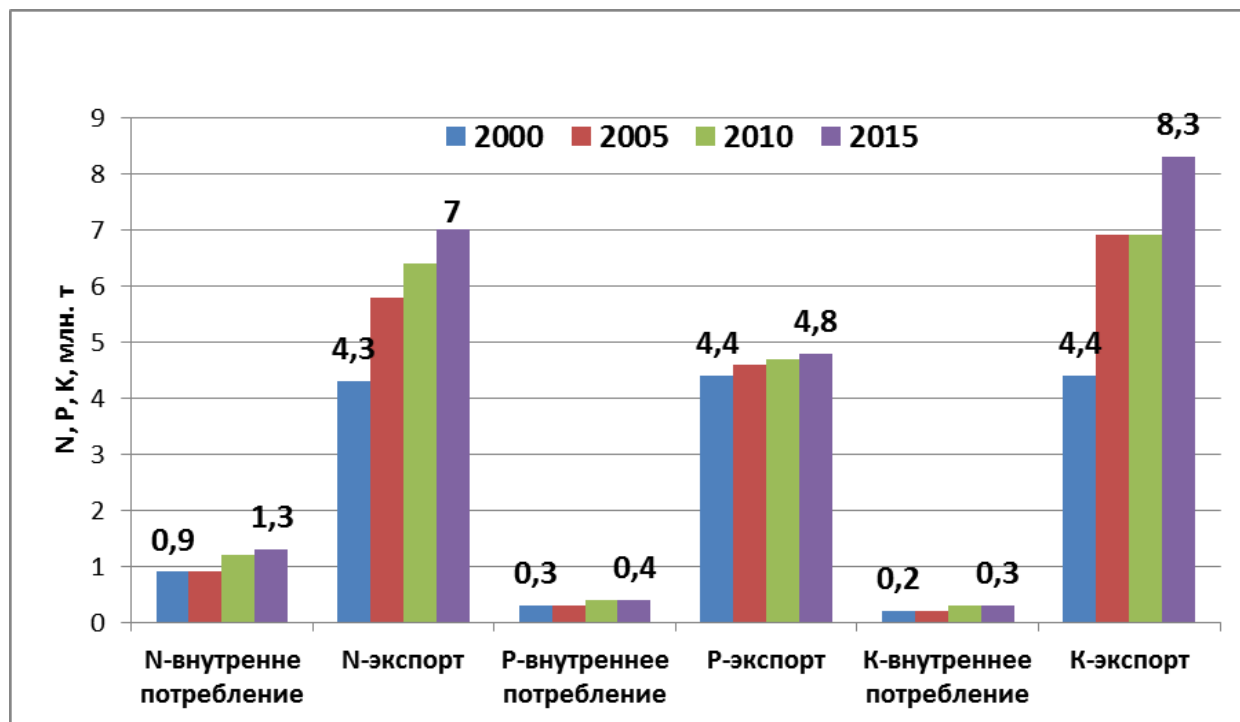


Рис. 4. Соотношение экспорта и внутреннего потребления удобрений в РФ
А – азотные удобрения (N); Б – фосфорные удобрения (P_2O_5); В – калийные удобрения (K_2O). 1 – внутреннее потребление; 2 – экспорт за рубеж

3.1.1. Состояние баланса азота

Практически на всех почвах главным фактором, определяющим продуктивность основных сельскохозяйственных культур, является азот. Среди минеральных удобрений, азотные являются наиболее трансформируемыми в окружающей среде. То есть, с одной стороны, азот интенсивно усваивается растениями, а с другой активно вовлекается почвенными микроорганизмами в трансформационный цикл с участием органического углерода (иммобилизация ↔ минерализация ↔ иммобилизация). В процессе минерализации часть азота покидает почву за счет миграции нитратов с природными водами и уходит за пределы экосистем, а также подвергается денитрификации и улетучивается в атмосферу (N_2 , N_2O). Поэтому азот в почвах практически не накапливается даже в условиях значительного превалирования его поступления над выносом с урожаем. В почвах в результате отчуждения биологической продукции создается дефицит активного органического углерода – основного источника пищи и энергии гетеротрофной микрофлоры и связывания минерального азота в органическую форму. Потери азота из почвы в виде нитратов при использовании органического удобрения выше, чем при минеральной системе удобрения. Для уменьшения выноса азота необходимо уметь управлять его круговоротом.

Кроме азота удобрений, в круговорот вовлекаются и другие источники связанного азота, из которых биологическая фиксация (симбиотическая и несимбиотическая) составляет наибольшую часть. Во всех сельскохозяйственных угодьях Земли за счет биологической азотфиксации в почву поступает около 44 млн. т N ежегодно (FAO, 2015).

Менее значительные количества, чем с удобрениями, в приходной части глобального азотного баланса составляют поступления связанного азота в результате сжигания ископаемого топлива (получение тепловой и электрической энергии, а также транспортные затраты). При сжигании топлива выделяются в основном окислы азота – основные загрязнители нижних слоев атмосферы. Определенная часть $N-NO_x$ выводится из атмосферы с осадками и поступает в почву.

На фоне общемировых данных применения азотных удобрений в земледелии России, с учетом того факта, что культивируемые почвы бедны и деградированы, применение всех видов удобрений, включая азотные, является критическим. За 25-летний период в земледелии России вынос азота с урожаем сельскохозяйственных культур превысил внесение азота со всеми видами удобрений на 63,5 млн. т (814 кг/га) (Рисунок 5).

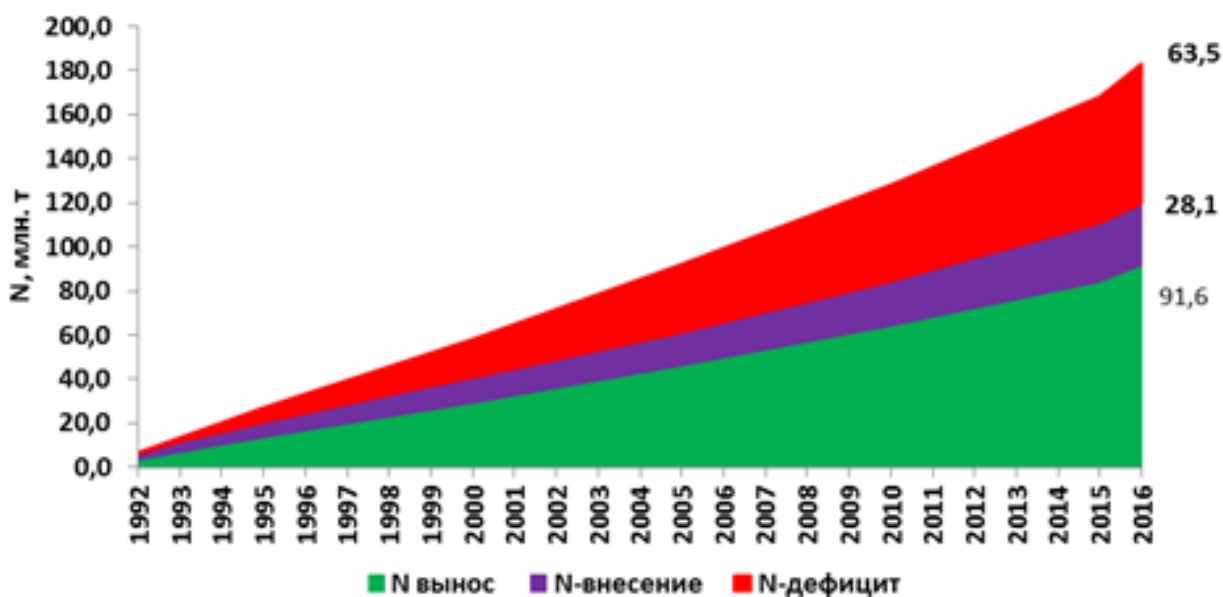


Рис. 5. Баланс азота в земледелии России за 1992–2016 гг. нарастающим итогом (Кудяров, 2018b)

Возможно, реальный дефицит азота в земледелии был несколько меньше, поскольку в почву азот поступал также за счет симбиотической и несимбиотической азотфиксации. К сожалению, такого рода объективные данные в настоящее время практически недоступны как в силу организационных причин – слабое развитие системы мониторинга, так и ввиду высокой миграционной способности азота в биосфере. Наряду с фиксацией атмосферного азота геобионтами, потери азота почвы происходят вследствие денитрификации и вымывания нитратов. Об этом можно судить по данным с мечеными ^{15}N азотными удобрениями: на различных почвах и в разных климатических зонах потери азота только в газообразной форме оценены в 15–25 % от вносимых доз (Кудяров, 2018b). С учетом приведенных фактов можно утверждать, что сельское хозяйство России в настоящее время испытывает острый дефицит азота. Судя по продолжающейся тенденции нарастания этого дефицита, ситуация в обозримой перспективе существенно не изменится.

Недостаток азота в питании растений не может обеспечивать получения полноценного по качеству и количеству урожая сельскохозяйственной продукции. Очевидно, в агроценозах надо создавать условия для оптимизации биологической фиксации, а не просто поставлять азот в почву, откуда он с неблагоприятным эффектом для окружающей среды тут же вымывается в зону аэрации или эмитируется в атмосферу.

3.1.2. Баланс фосфора

Пополнение запасов фосфора в почвах возможно только путем применения фосфатных удобрений и других содержащих фосфор веществ. В России вынос фосфора с

урожаем сельскохозяйственных культур за 25 лет в 3 раза превысил внесение фосфора со всеми видами удобрений (Рисунок 6).

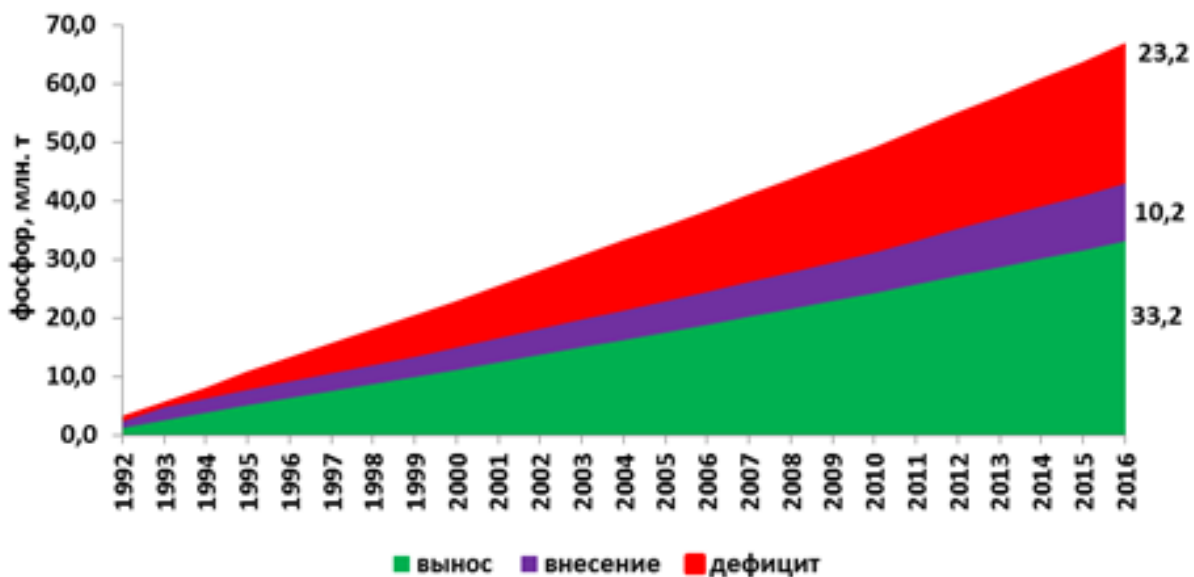


Рис. 6. Баланс фосфора в земледелии России за 1992–2016 гг. нарастающим итогом (Кудеяров, 2018b).

При этом в стране имеется огромный потенциал запасов лучшего в мире по качеству фосфатного сырья – Хибинского апатита, однако более половины выпускаемой в России фосфорсодержащей продукции уходит за рубеж (Госдоклад, 2016). Это абсолютно не оправдано с точки зрения стратегии государственной продовольственной безопасности. Ведь Хибинское месторождение далеко не самое емкое по мировым стандартам, особенно на фоне новых данных о разведанных в мире запасах фосфорного сырья (Lapin, Lyagushkin, 2014). Затраты России на импорт продовольствия гораздо выше, чем выручка от продажи удобрений за рубеж (Госдоклад, 2016).

3.1.3. Баланс калия

Калий является значимым питательным элементом в земледелии России. Возможно, ситуация с калием менее острая, чем с фосфором или азотом, но без применения калийных удобрений нельзя полностью реализовать потенциал эффективности этих биофилов и получить полноценную пищевую сельскохозяйственную продукцию (Рисунок 7). Баланс калия в земледелии страны ухудшается.

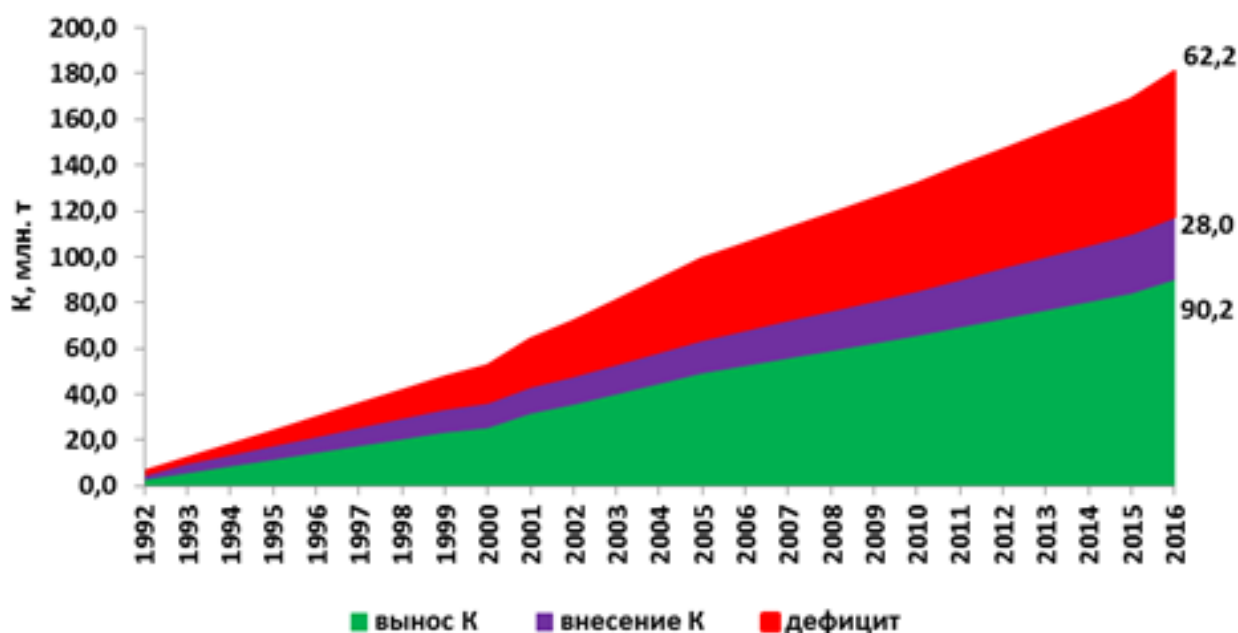


Рис. 7. Баланс калия в земледелии России за 1992–2016 гг. нарастающим итогом (Кудяров, 2018b).

В целом, агрогеохимический баланс основных питательных элементов (NPK) на территории России в настоящее время весьма неблагоприятный, причём сложившаяся ситуация во многом обусловлена избыточным экспортом минеральных удобрений.

4. Управление биогеохимическим циклом биофильных элементов методами биогеоинженерии

Глобальный биогеохимический цикл углерода в составе органического и минерального вещества почвы, фосфор, другие макро- и микроэлементы, модели этого процесса и, особенно новые технологии природопользования чрезвычайно важны для корректного экологического мониторинга и менеджмента экосистем (Van Mansvelt, 2017).

Современное природопользование на устаревших имитационных принципах исключает в эпоху ноосферы коэволюционное развитие человечества, техносферы и биосферы, переход к природоподобным технологиям (Ковальчук и др., 2013; Ковальчук, Нарайкин, 2017). В качестве новой парадигмы развития предложено научно-технологическое направление «биогеоинженерия», в котором разработаны природоподобные алгоритмы, технологии и технические решения, в частности, предложено управление системой агрегатов почвы и биогеохимическим циклом вещества в целях создания природоподобных биогеоинженерных систем с трансцендентальными (т.е. не имеющими прямых аналогов в природе) – свойствами (Glazko, Sister, 2016; Kalinitchenko et al., 2016).

Теория и практика механической обработки почвы ориентированы преимущественно на традиционные рыхлящие устройства. После стандартной мелиоративной трехъярусной вспашки каштаново-солонцового комплекса агрегаты почв представлены преимущественно в виде глыб (иллювиального и переходного горизонтов) размером более 100 мм. Глыбы сохраняются практически в неизменном виде в течение 30 и более лет, оставаясь непроницаемыми для корней культурных растений. В результате седиментации тупиковые поры занимают до 99 % объема порового пространства агрогенной почвы (Korost et al., 2012; Shein et al., 2014a; Shein et al., 2014b).

Геофизическая иерархия почвенно-пористых сред отвечает за текстуру, распределение фракций агрегатного состава и процесс агрегации в почве (Batukaev et al., 2016; Kalinichenko et al., 2014; Shein et al., 2017). Эта иерархия влияет на условия развития растений и геобионтов, на перспективы стабилизации органического вещества, на качество и плодородие почвы, особенно при возмущении почвы механической обработкой.

Разработан принцип мелиорации почвы агроценозов посредством фрезерной обработки её иллювиального горизонта (на глубине 20–45 см), обеспечивающий разрушение крупных почвенных агрегатов (Шаршак и др., 1974). Однократная внутрипочвенная фрезерная обработка обеспечивает получение мелких и средних искусственных агрегатов почвы – комфортного субстрата для приоритетного развития корневой системы растений и обитания геобионтов. Количество агрегатов почвы размером 1–3 мм в слое 20–45 см после стандартной трехъярусной обработки почвы составляло только 10 %, а после внутрипочвенного фрезерования – до 40 %.

В результате внутрипочвенного фрезерования улучшаются физико-химические, технологические и агробиологические параметры почвы, оптимизирован круговорот питательных элементов. Обеспечивается почвенно-биологический секвестр углерода, увеличивается содержание гумуса, в течение длительного периода отмечен рост продуктивности агрокультуры и достигнуты высокие экономические показатели (Kalinichenko et al., 2011; Москаленко и др., 2013).

Внутрипочвенная фрезерная обработка, особенно на уровне новых технических решений (Kalinichenko, 2005; Калиниченко и др., 2014), имеет перспективу как возможность обеспечить обратимый секвестр углерода из атмосферы в биологической фазе почвенного органического вещества и в виде биопродукции, полученной на улучшенной почве. Ввиду увеличения мощности корнеобитаемого слоя почвы и перераспределения агрегатной композиции её структуры в направлении преобладания мелких агрегатов, сокращения количества тупиковых пор улучшается питание растений, особенно фосфором, повышаются коэффициенты использования минеральных и органических удобрений, сокращаются потери биофилов на выщелачивание в зону аэрации.

При внутрипочвенной фрезерной обработке более глубоких слоев почвы усиливается развитие корневой системы, соответственно, увеличивается образование отпада, активизируется минерализация органического вещества, и в результате создаются предпосылки более благоприятного азотного питательного режима. Но ещё только предстоит изучить его составляющие в новых условиях, которые создает внутрипочвенная фрезерная обработка (Мишустин и др., 1974; Умаров, 1986; Умаров и др., 2007).

Немаловажное обстоятельство – один из продуктов трансформации азота в почве – закись азота (N_2O) – значимый парниковый газ (USEPA, 2018). На фоне стандартной агротехники интенсификация его эмиссии более вероятна, чем при внутрипочвенной фрезерной обработке, когда создаётся возможность перевода азота в доступные растениям формы и, вместе с тем, возможность его быстрого усвоения растениями.

Улучшение условий фотосинтеза позволяет повысить продуктивность растений и обеспечить ускоренный круговорот элементов питания.

За счёт оптимизации условий для микрофауны почвы – оптимизации агрегатного состава – повышаются здоровье и продуктивность почвы.

Традиционно на ирригацию расходуют большую часть ресурса пресной воды, причем результатом ирригации является не только потеря воды, но и нанесение вреда геосферам (Гурбанов и др., 2018). Результатом стандартной ирригации являются: а) нарушение и резкое ухудшение гидрологического режим почвы, ландшафта, б) выщелачиваются питательные вещества, в) происходит переувлажнение, вторичное засоление орошаемых земель, г) в результате гравитационно-гидродинамическая флотации твердой фазы наблюдается интенсивное водно-гравитационное переуплотнение почвы (Тогунова и др., 2010). Расход воды на ирригацию в 4–15 раз превышает эмпирическую потребность культивируемых растений. К тому же, применение стандартного метода расчета оросительных норм приводит к завышенному результату, который не соответствует современным представлениям о физике почв (Шеин, 2015; Шеин и др., 2018), избыточному с позиции питания растений, которые потребляют не воду, но содержащиеся в воде питательные вещества.

Современная ирригация характеризуется системным дефектом гидрологического режима почвенного покрова при фронтальной искусственной подаче воды. Дефект состоит в том, что в процессе проведения стандартного полива совмещают фазу подачи воды с фазой её самопроизвольного перераспределения в почве, причем результирующие процессы: перенос воды в ненасыщенной почве, перенос воды в зону аэрации, латеральный перенос

между компонентами структуры почвенного покрова никак не контролируются. Это приводит к неблагоприятным гидрологическим, экологическим и климатическим последствиям (Агальцева и др., 2011; Wood, 2014; Wu et al., 2013).

Предложена новая природоподобная водная стратегия биогеосистемотехники – внутрипочвенная импульсная континуально-дискретная парадигма увлажнения, которая позволяет преодолеть недостатки традиционной ирригации (Kalinichenko, 2010; Kalinichenko et al., 2010). В фазе подачи дозу воду впрыскивают в почву, распределяя её на глубине 10–40 см в цилиндре первичного увлажнения. После этого следует фаза перераспределения влаги капиллярным, пленочным и парообразным переносом, которая продолжается всего нескольких минут вместо нескольких суток при стандартной ирригации. Результирующий термодинамический потенциал воды в увлажненной почве –0.2 МПа, существенно ниже –0.033 МПа наименьшей влагоемкости почвы, являющейся целевой функцией стандартного полива. Потому после стандартного полива почва переувлажнена, и растения находятся в состоянии дискомфорта. Устьичный аппарат растения при этом полностью открыт, поскольку растение откачивает из почвы избыточную воду сквозь свою сосудистую систему. Устьичный аппарат растения при новом способе увлажнения почвы находится в режиме регулирования. При этом растение питается более концентрированным почвенным раствором, что в сравнении со стандартным поливом позволяет существенно снизить затраты энергии на эвапотранспирацию, получение питательных веществ. Оптимизация органогенеза способствует повышению продуктивности растений (Zaitseva et al., 2013). Гидродинамическое воздействие на почвенные механические связи краткосрочное, поэтому структура почвы восстанавливается быстро. Механический каркас сохраняется, внутри него в фазе подсыхания увлажненной почвы возможен синтез новых мелких агрономически ценных агрегатов (Batukaev et al., 2018).

Возрастает устойчивость растений к фитопатогенам вследствие относительно низкой влажности почвы. Исключены потери воды, её негативное избыточное воздействие на почву и агроландшафт – в сравнении с традиционной ирригацией, расход воды на увлажнение почвы снижается в 5–20 раз. Ввиду меньшей подачи воды, растения с поливной водой получают меньше поллютантов и легкорастворимых солей, содержащихся в поливной воде. Улучшается круговорот элементов питания растений, которые не выщелачиваются из почвы как при стандартной ирригации. Ввиду отсутствия переувлажнения почвы и ландшафта исключены крупные недостатки стандартной ирригации – высокий уровень грунтовых вод, неблагоприятное воздействие ирригации на ландшафт и потеря пресной воды. Поскольку переувлажнение почвы и зоны аэрации меньше, сокращается продуцирование CH_4 , а, поскольку обеспечено глубокое залегание грунтовых вод, в почве происходит более надежное окисление CH_4 .

В целом, достигается многократная экономия энергии, финансовых и материальных ресурсов. За счёт применения новой внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной водной парадигмы достигается важнейшая возможность – сократить поток в атмосферу самого опасного парникового газа – водяного пара. Ранее это обстоятельство не оценивали, поскольку отсутствовало приемлемое технологическое решение. Коль скоро это решение теперь есть, его многогранные возможности необходимо иметь в виду – в первую очередь, это повышение продуктивности почвы, особенно в засушливых и пустынных условиях. При коэволюции реализуется возможность экспансии биосферы, как в плане повышения её продуктивности, так и посредством использования малопродуктивных земель.

За счет многократного уменьшения нормы расхода воды на увлажнение почвы этот амбициозный план вполне выполним. В нём же заложена новая возможность применения систем опреснения воды. Расширение биосферы – это возможность стабилизировать социум, корректировать климатическую систему, особенно ввиду новых сведений об имевшей место ранее недооценке тесной связи продолжительности оборота углерода с гидрологическим режимом суши и важной роли вклада засушливых территорий в потоки и баланс этого элемента (Carvalhais et al., 2014). Последнее имеет особую глобальную значимость в фокусе открытых принципиально новых возможностей биогеосистемотехники в связи с необходимостью стабилизации климатической системы Земли (Kalinichenko et al., 2017).

Мировая проблема деградации пахотных почв является следствием нерационального землепользования. Почвенный покров аккумулирует питательные вещества, выступает в

роли биологического поглотителя и нейтрализатора загрязняющих веществ. Если это важное составляющее биосферы не будет поддерживаться и рационально использоваться, может наступить глобальный продовольственный и экономический кризис (Кудеяров, 2015).

Стандартное обращение с отходами происходит по принципу «быстрее избавиться» – это открытые свалки, сосредоточенное захоронение, размещение в верхнем слое почвы, сжигание, неполная очистка опасных для биоты жидких бытовых, животноводческих, технических стоков. Это нарушает баланс углерода и многих других химических элементов, биофилов, способствует распространению опасных инфекций (Sazykin et al., 2016; Gorovtsov et al., 2018), техногенных загрязнений (Минкина и др., 2013; Мун и др., 2013).

Рециклинг минеральных и органических отходов в форме агрегатов до 3–5 мм, синтез удобрительных, мелиорирующих субстанций предложено проводить одновременно с внутрипочвенным фрезерованием в слое 20–45 см (30–60) (Калиниченко, 2010; Калиниченко и др., 2013). Это позволяет синтезировать развитую геофизическую систему агрегатов «почва – отходы» как приоритетный субстрат, в котором обеспечен успешный рециклинг разнообразных отходов (Белюченко, 2016; Kalinichenko, Starcev, 2015). Оптимизируются условия развития как полезных аборигенных, так и внесенных в почву одновременно с рециклингом отходов микроорганизмов и ферментов. Оптимизация фосфорного, как и других видов питания растений, более эффективна при глубоком внесении удобрительных веществ. В таком варианте улучшаются условия развития ризосферы и питания растений. В результате повышается биологическая продуктивность агроценоза (Мищенко и др., 2009).

Утилизация опасных биологических отходов (включая боевые), отходов пищевых производств, продуктов пиролиза (включая биочар), отходов газификации по предлагаемой технологии нарушает трофические цепи распространения опасного инокулюма патогенов и фитопатогенов (Калиниченко, Старцев, 2013; Калиниченко и др., 2018). Микроорганизмы-супрессоры в новой развитой на уровне мелких агрегатов почвенной экосистеме эффективно элиминируют патогенную и/или фитопатогенную микробиоту. Фитоиммунный статус почвы повышается, что обеспечивает её биоремедиацию, улучшается фитосанитарный фон.

Внутрипочвенная импульсная континуально-дискретная система внесения вещества в жидкой форме (пульпа, смесь) позволит оптимизировать водопотребление и одновременно питание растений, при этом обеспечивается экологическая, медицинская и ветеринарная безопасность экосистем, удобрительный безопасный для экосферы рециклинг сточных вод, содержащих минеральное (исключая тяжёлые металлы) и органическое вещество. За счет ассоциации ионов в почвенном растворе в условиях относительно низкого термодинамического потенциала воды, новая агрегатная система почвы позволяет усилить биогеохимический барьер «почва – ризосфера» (Endovitsky, 2017; Kalinichenko et al., 2018). Это в свою очередь позволяет минимизировать поступление в растения тяжелых металлов (Bech et al., 2014), достигается высокая биологическая продуктивность и оздоровление почвы (Семенов, 2016; Шеин и др., 2018). Ускорение круговорота углерода и элементов питания следует за расширением их биолого-почвенной фазы (Blagodatskaya et al., 2014), улучшается функционирование ризосферы (Wu et al., 2016).

При открытом хранении навоза и анаэробном разложении органических отходов происходит опасное загрязнение атмосферы N_2O , CH_4 и многими другими соединениями. Но если методами биогеосистемотехники отходы в измельчённом виде направлять внутрь мелко-агрегатного слоя почвы (20–45 см), то достигается переработка продукта сапротрофами, в почве успешно фиксируются удобрительные вещества, в том числе достигается значительная степень трансформации N_2O и CH_4 вместо их эмиссии в атмосферу, которая имеет место при стандартных технологиях. Методы биогеосистемотехники позволяют увеличить емкость биосферы, а также расширить фазу и увеличить объем биологически доступных форм азота, фосфора, калия (Kalinitchenko, 2016).

Внутрипочвенная импульсная континуально-дискретная система внесения биопрепаратов и пестицидов в целях защиты растений позволит усилить действие биопрепаратов на вредные организмы, при этом одновременно достигается безопасность экосферы.

Методы биогеосистемотехники применимы к многолетним плодовым культурам, древесно-кустарниковым насаждениям, обеспечивая лучшую приживаемость, ускоренное

накопление фитомассы, повышение продуктивности, улучшение почвозащитных функций, привлекательный габитус (Kalinichenko, 2015; Kalinichenko et al., 2013; Kalinichenko et al., 2015).

Наконец, методы биогеосистемотехники следует иметь в виду в качестве возможности обеспечить разработку принципиально новых эффективных государственных стратегических программ развития, базирующихся на природоподобных технологиях (Алексеев, 2014).

Чтобы избежать деградации почвы, необходимо постоянно поддерживать гомеостаз её формирования и развития (Blum, Eswaran, 2004). Только новая технология улучшения экосферы позволит ответить на большой вызов BECCS (Fajardy, Dowell, 2017), обеспечить полномасштабный потенциал и устойчивый баланс экосферы в антропоцене (Cuomo, 2017), стабилизировать плодородие и здоровье почвы (Семенов, 2016) и контролировать её эволюцию (Демкин и др., 2012; Лисецкий, Родионова, 2015; Lisetskii et al., 2015).

5. Заключение

Традиционные технологии природопользования не обеспечивают устойчивые биогеохимические циклы биофильных и иных элементов, сохранение биоразнообразия биосферы, устойчивую продуктивность агросферы. В частности, обсуждаемые природоподобные технологии биогеосистемотехники обогащают и делают эти циклы более замкнутыми. Оптимизацию коэволюции биосферы и техносферы обеспечивают: а) внутрипочвенное фрезерование иллювиального горизонта почвы; б) внутрипочвенное импульсное континуально-дискретное увлажнение; в) высокопроизводительный экологичный внутрипочвенный рециклинг органических отходов; д) внутрипочвенное импульсное континуально-дискретное внесение агрохимикатов. Реализация природоподобных технологий в ближайшей перспективе позволит: а) сформировать стартовые условия для почвозащитного ресурсосберегающего земледелия, б) усилить и ускорить круговорот биофильных веществ, образование активной и иных фракций почвенного органического вещества, оптимизировав соотношение анаэробного и аэробного процессов в почвенной экосистеме, в) обеспечить бездефицитный баланс гумуса и обратимый почвенно-биологический секвестр углерода, г) снизить экотоксикантную нагрузку на экосферу, д) перманентно оздоравливать почву и повышать её продуктивность.

Контролируемая коэволюция агросферы позволит успешно реализовать государственные стратегические программы развития природоподобных технологий для повышения качества жизни населения страны. Будут созданы реальные предпосылки для эффективного решения глобальной социально-экологической проблемы – обеспечения производства дополнительного биотоплива, сырья и продовольствия, повышения устойчивости биосферы посредством биологизации земледелия, реализации почвозащитной стратегии и сбережения биоразнообразия.

6. Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность Валерию Петровичу Калиниченко за разработку концепции и методологии биогеосистемотехники, за активное участие в критическом обсуждении текста рукописи.

Литература

Агальцева и др., 2011 – Агальцева Н.А., Болгов М.В., Спекторман Т.Ю., Трубецкова М.Д., Чуб. В.Е. (2011). Оценка гидрологических характеристик в бассейне Амударьи в условиях изменения климата // *Метеорология и гидрология*, 10: 58–69.

Акатов, 2013 – Акатов П.В. (2013). Реакция растений на рост концентрации углекислого газа в атмосфере // *Живые и биокосные системы*, 5.

Алексеев, 2014 – Алексеев А.В. (2014). Государственные программы: реальный или номинальный инструмент управления экономикой? // *Экономист*. № 6. С. 20–27.

Белюченко, 2016 – Белюченко И.С. (2016). Применение сложных компостов для повышения плодородия почв // *Экологический вестник Северного Кавказа*, 1: 55–69.

Борисенков, Пичугин, 2001 – Борисенков Е.П., Пичугин Ю.А. (2001), Возможные негативные сценарии динамики биосферы как результат антропогенной деятельности // Доклады академии наук, 378(6): 812–814.

Глаголев и др., 2012 – Глаголев М.В., Филиппов И.В., Клепцова И.Е. (2012) Эмиссия и поглощение метана почвами России / Болота и биосфера: материалы VIII Всероссийской с международным участием научной школы (10–15 сентября 2012 г., Томск). Томск: Изд-во ТГПУ, 2012, С. 32–41.

Глинушкин и др., 2016 – Глинушкин А.П., Соколов М.С., Торопова Е.Ю. (2016). Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве. М.: Агрорус. 288 с.

Госдоклад, 2016 – Государственный доклад "О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2015 г. М.: Минприроды и экологии РФ, 2016. С. 267–283. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mineral.ru>

Гурбанов и др., 2018 – Гурбанов Э.А., Рамазанова Ф.М., Дунямалиева Н.Я., Газиева П.Ч. (2018). Изменение основных показателей плодородия почв при орошении сухих субтропических степей Азербайджанской Республики // *Агрохимия*, 11: 19–26. DOI: 10.1134/S0002188118110054

Демкин и др., 2012 – Демкин В.А., Борисов А.В., Демкина Т.С., Удальцов С.Н. (2012). Эволюция почв и динамика климата степей юго-востока русской равнины в эпохи энеолита и бронзы (IV–II тыс. до н.э.) // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 1: 46–57.

Добровольский, 2012 – Добровольский Г.В. (2012). Биосфера как оболочка высокой концентрации и разнообразия жизни на планете Земля / Почвы в биосфере и жизни человека. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ. С. 20–34.

Звягинцев и др., 2005 – Звягинцев Д.Г., Бабьева И.Л., Зенова Г.М. (2005). Биология почв. М.: Изд-во МГУ. 455 с.

Калиниченко, 2010 – Калиниченко В.П. (2010). Патент на изобретение RU № 2387115 С2. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 апреля 2010 г. Устройство для внесения вещества при ротационном внутрипочвенном рыхлении. Патентообладатель ИППЮР. МПК А01В 33/02 (2006.01) А01С 23/00 (2006.01). Заявка № 2008124500/12(029710) от 16.06.2008. Опубликовано 27.04.2010. Бюл. № 12. 6 с.

Калиниченко, 2016 – Калиниченко В.П. (2016). Биogeосистемотехника – инновационный метод управления продуктивностью и здоровьем почвы / В кн.: «Современные проблемы гербологии и оздоровления почв». Материалы Международной научно-практической конференции. 21–23 июня 2016 года. Большие Вязёмы. РАН. С. 246–263.

Калиниченко и др., 2013 – Калиниченко В.П., Ильин В.Б., Ендовицкий А.П., Черненко В.В. (2016). Патент на изобретение RU № 2476055 С2. Способ синтеза вещества внутри тонкодисперсной системы. МПК Кл. А01С 23/00 (2006.01). Заявка № 2011100187/21(000278) от 11.01.2011. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 февраля 2013 г. Опубликовано 27.02.2013. Бюл. № 6. 7 с.: 2 ил.

Калиниченко и др., 2014 – Калиниченко В.П., Шаршак В.К., Ладан Е.П., Илларионов В.В., Генов Е.Д. (2014). Технические средства внутрипочвенного рыхления с малым тяговым сопротивлением // *Вестник Донского государственного технического университета*, 14(2-77): 151–163. DOI: 10.12737/4467.

Калиниченко и др., 2018 – Калиниченко В.П., Глинушкин А.П., Соколов М.С., Козырев С.Г., Савостьянов А.П., Ильин В.Б. (2018). Комплекс утилизации отхода газификации. МПК С10J 3/06 (2006.01) С10J 3/46 (2006.01) F23B 40/02 (2006.01). Заявка в ФИПС № 2018100555/05(000677) от 13.04.2018.

Калиниченко, Старцев, 2013 – Калиниченко В.П., Старцев В.Ф. (2013). Патент RU 2552076 С1. Способ утилизации боенских отходов. МПК В09С 1/00 (2006.01) В09В 3/00 (2006.01) С09F 1/00 (2006.01) С08L 89/04 (2006/01). Заявка № 2013154612/17(085276) от 9.12.2013. Опубликовано 10.06.2015. Бюл № 16. 9. с.: 1 ил.

Ковальчук и др., 2013 – Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. (2013). Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития // *Вопросы философии*, 3: 3–11.

Ковальчук, Нарайкин, 2017 – Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. (2017). Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // *Индекс безопасности*, 22: 103–108.

Колесников и др., 2013 – Колесников С.И., Ярославцев М.В., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш. (2013). Сравнительная оценка устойчивости биологических свойств черноземов Юга России к загрязнению Cr, Cu, Ni, Pb в модельном эксперименте // *Почвоведение*, 2: 195.

Кудеяров, 2015 – Кудеяров В.Н. (2015). Оценка питательной деградации пахотных почв России // *Вестник Российской академии наук*, 85(9): 771.

Кудеяров и др., 2017 – Кудеяров В.Н., Соколов М.С., Глинушкин А.П. (2017). Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию // *Агрехимия*, 6: 3–11.

Кудеяров, 2018a – Кудеяров В.Н. (2018). Углеродный баланс наземных экосистем на территории России к 25-летию принятия рамочной конвенции ООН об изменении климата // *Вестник Российской академии наук*, 88(2): 179–183.

Кудеяров, 2018b – Кудеяров В.Н. (2018). Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // *Агрехимия*, 10: 3–11. DOI: 10.1134/S0002188118100101

Лисецкий, Родионова, 2015 – Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е. (2015). Изменение почв сухой степи в результате многовековых агрогенных воздействий (в окрестностях античной Ольвии) // *Почвоведение*, 4: 397.

Минкина и др., 2013 – Минкина Т.М., Манджиева С.С., Федоров Ю.А., Сушкова С.Н., Бурачевская М.В., Невидомская Д.Г., Антоненко Е.М., Калинин В.П., Ендовицкий А.П., Ильин В.Б., Черненко В.В., Бакоев С.Ю. (2013). Патент RU № 2521362 С2. Способ оценки степени деградации техноландшафта при химическом загрязнении. МПК С01В (2006.01), Е02В13/00, G01N33/24. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 30 апреля 2014 г. Заявка № 2012101597/20(002163) от 17.01.12. Опубликовано 27.06.2014. Бюл. № 18. 7 с.

Мишустин, Емцев, 1074 – Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. Почвенные азотфиксирующие бактерии рода *Clostridium*. М.: Наука, 1974. 251 с.

Мищенко и др., 2009 – Мищенко Н.А., Громыко Е.В., Калинин В.П., Черненко В.В., Ларин С.В. (2009). Эколого-рекреационный рециклинг фосфогипса в черноземе на примере Краснодарского края // *Плодородие*, 6: 25–26.

Москаленко и др., 2013 – Москаленко А.П., Калинин В.П., Овчинников В.Н., Москаленко С.А., Губачев В.А. (2013). Биogeосистемотехника – основа практики экологической политики и экологической экономики // *Экономика и предпринимательство*, 12–3 (41–3). С. 160–165.

Мун и др., 2013 – Мун С.А., Ларин С.А., Глушков А.Н. (2013). Влияние добычи угля на загрязнение атмосферы и заболеваемость раком легкого в Кемеровской области // *Современные проблемы науки и образования*, 1.

Семенов, 2016 – Семенов А.М. (2016). Здоровье почвы – новая характеристика в познании почвенных экосистем: методы определения, диагностика, реабилитация. *Научная жизнь*, 1: 146–161.

Семенов, Соколов, 2016 – Семенов А.М., Соколов М.С. (2016). Концепция здоровья почвы: фундаментально-прикладные аспекты обоснования критериев оценки // *Агрехимия*. 1: 3–16.

Соколов, 2013 – Соколов М.С. (2013). В.И. Вернадский и его биосферология // *Биосфера*, 5(1): 9–20.

Соколов, Глазко, 2015 – Соколов М.С., Глазко В.И. (2015). Минимизация негативных социально-экологических последствий техногенеза в агрофере России // *Агрехимия*, 3: 3–9.

Соколов и др., 2010 – Соколов М.С., Дородных Ю.Л., Марченко А.И. (2010). Здоровая почва как необходимое условие жизни человека // *Почвоведение*, 7: 858–856.

Соколов и др., 2015 – Соколов М.С., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю. (2015). Средообразующие функции здоровой почвы – фитосанитарные и социальные аспекты // *Агрехимия*, 8: 81–94.

Соколов и др., 2018 – Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Калинин В.П., Глинушкин А.П. (2018). Управляемая коэволюция педосферы – реальная биосферная

стратегия XXI века (вклад в развитие ноосферных идей В.И. Вернадского). *Агрехимия*, 11: 3–18. DOI: 10.1134/S0002188118110091

Топунова и др., 2010 – Топунова И.В., Приходько В.Е., Соколова Т.А. (2010). Влияние орошения на содержание и минералогический состав илистой фракции черноземов Ростовской области (Багаевско-садковская оросительная система) // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*, 1: 3–10.

Умаров, 1986 – Умаров М.М. (1986). Ассоциативная азотфиксация. Издательство: МГУ, 136 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.twirpx.com/file/1222654/>

Умаров и др., 2007 – Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. (2007). Микробиологическая трансформация азота в почве. Издательство: ГЕОС, 138 с. ISBN: 5891183157

Шаршак и др., 1974 – Шаршак В.К., Москвичев Н.Н., Ладан Е.П., Геве Е.Д., Слюсарев В.С. (1974). Комбинированное почвообрабатывающее орудие. А.с. СССР № 442760. А01В 49/00, А01В 33/10. Заявка 1855058/30-15 от 11.12.72. Б.И. № 34. 15.09.74.

Шеин, 2015 – Шеин Е.В. (2015). Математические физически обоснованные модели в почвоведении: история развития, современное состояние проблемы и перспективы (аналитический обзор) // *Почвоведение*, 7: 816.

Шеин и др., 2018 – Шеин Е.В., Белик А.А., Кокорева А.А., Колупаева В.Н. (2018). Количественная оценка неоднородности потоков веществ по параметру “шаг смешения” для математических моделей миграции пестицидов в почвах // *Почвоведение*, 7: 852–858. DOI: 10.1134/S0032180X18070080

Яблоков и др., 2015 – Яблоков А.В., Левченко В.Ф., Керженцев А.С. (2015). Очерки биосферологии. 1. Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы // *Philosophy & Cosmology*, 14: 92–118.

Altieri et al., 2018 – Altieri V., De Franco S., Lombardi F., Marziliano P.A., Menguzzato G., Porto P. (2018). The role of silvicultural systems and forest types in preventing soil erosion processes in mountain forests: a methodological approach using cesium-137 measurements // *Journal of Soils & Sediments*, 18: 3378. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1957-8>

Ananyeva et al., 2016 – Ananyeva N.D., Rogovaya S.V., Ivashchenko K.V., Vasenev V.I., Sarzhanov D.A., Ryzhkov O.V., Kudayarov V.N. (2016). Carbon dioxide emission and soil microbial respiration activity of chernozems under anthropogenic transformation of terrestrial ecosystems // *Eurasian Soil Science*, 5: 146.

Apestequí et al., 2016 – Apestequí M., Virto I., Plante A. (2016). Role of carbonates in soil organic matter stabilization in agricultural Mediterranean soils // *Geophysical Research Abstracts*, EGU2016–17677.

Arnold, 2014 – Arnold T. (2014). Policy considerations for food and nutrition security towards 2050 // 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH IUPAC International Congress of Pesticide Chemistry. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10-14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. P. 217.

Atmospheric Methane, 2018 – Atmospheric Methane: Sources, Sinks, and Role in Global Change / Edited: M.A.K. Khalil. NATO ASI Series. Series I // *Environmental global change*, 13. DOI: 10.1007/978-3-642-84605-2 (date of access 2018-12-07).

Barron-Gafford et al., 2005 – Barron-Gafford G., Grieve K., Biel K., Martens D., McLain J.E.T., Kudayarov V., Lipson D., Murthy R. (2005). Growth of Eastern cottonwoods (*Populus deltoides*) in elevated [CO₂] stimulates stand-level respiration and rhizodeposition of carbohydrates, accelerates soil nutrient depletion, yet stimulates above- and belowground biomass production // *Global Change Biology*, 11(8): 1220–1233.

Batjes, 2016 – Batjes N.H. (2016). Harmonised soil property values for broad-scale modelling (WISE30sec) with estimates of global soil carbon stocks // *Geoderma*, 269: 61–8. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.01.034

Batukaev et al., 2016 – Batukaev A.A., Endovitsky A.P., Andreev A.G., Kalinichenko V.P., Minkina T.M., Dikaev Z.S., Mandzhiyeva S.S., Sushkova S.N. (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // *Solid Earth*, 7(2): 415–23. DOI: 10.5194/se-7-415-2016

- Batukaev et al., 2018** – Batukaev A.A., Kalinichenko V.P., Rykhlik A.E., Palaeva D.O. (2018). Intra-Soil Pulse Continuum-Discrete Moistening for Soil and Water Preservation // *Advances in Engineering Research*, 151: 905-911. Atlantis Press.
- Bech et al., 2014** – Bech J., Korobova E., Abreu M., Bini C., Chon H.T., Pérez-Sirvent C. (2014). Soil pollution and reclamation // *Journal of Geochemical Exploration*, 147: 77-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.11.001>
- Blagodatskaya et al., 2014** – Blagodatskaya E., Kuzyakov Y., Blagodatsky S., Anderson T.-H. (2014). Microbial Growth and Carbon Use Efficiency in the Rhizosphere and Root-free soil // *PLoS ONE*, 9(4): e93282.
- Bloem et al., 2006** – Microbiological Methods for Assessing Soil Quality / Ed. by J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti. CAB Publishing UK, USA, 2006. 301 p.
- Blum, Eswaran 2004** – Blum W.E.H., Eswaran H. (2004). Editorial: soils and sediments in the anthropocene // *Journal of Soils & Sediments*, 4: 71. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02991046>
- Bohle, 2017** – Bohle M. (2017). Ideal-Type Narratives for Engineering a Human Niche // *Geosciences*, 7(1): 18. DOI: [10.3390/geosciences7010018](https://doi.org/10.3390/geosciences7010018)
- Bohle, Erle, 2017** – Bohle M., Erle E.C. (2017). Furthering Ethical Requirements for Applied Earth Science // *Annals of Geophysics*, 60(7). DOI: [10.4401/ag-7401](https://doi.org/10.4401/ag-7401)
- Burns et al., 2006** – Burns R.G., Nannipieri P., Benedetti A., Hopkins D.W. (2006). Defining Soil Quality, *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, J. Bloem, D. W. Hopkins, and A. Benedetti (Eds.) CAB Publishing. UK. USA, pp. 15-22.
- Carmichael et al., 2014** – Carmichael M.J., Bernhardt E.S., Bräuer S.L., Smith W.K. (2014). The role of vegetation in methane flux to the atmosphere: should vegetation be included as a distinct category in the global methane budget? // *Biogeochemistry*, 119 (1): 1-24. DOI: [10.1007/s10533-014-9974-1](https://doi.org/10.1007/s10533-014-9974-1)
- Carvalhais et al., 2014** – Carvalhais N., Forkel M., Khomik M., Bellarby J., Jung M., Migliavacca M., Mu M., Saatchi S., Santoro M., Thurner M., Weber U., Ahrens B., Beer C., Cescatti A., Randerson J.T. & Reichstein M. (2014), Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems // *Nature*, 514(7521): 213-217. DOI: [10.1038/nature13731](https://doi.org/10.1038/nature13731)
- Cheshko et al., 2014** – Cheshko V.T., Ivanitskaya L.V., Kosova Yu.V. (2014). Configuration of Stable Evolutionary Strategy of Homo Sapiens and Evolutionary Risks of Technological Civilization (the Conceptual Model Essay) // *Biogeosystem Technique*, 1(1): 58-68.
- Cuomo, 2017** – Cuomo C.J. (2017), Against the Idea of an Anthropocene Epoch: Ethical, Political and Scientific Concerns // *Biogeosystem Technique*, 4(1): 4-8. DOI: [10.13187/bgt.2017.1.4](https://doi.org/10.13187/bgt.2017.1.4)
- Dolman et al., 2012** – Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M.K., Beletti Marchesini L., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D. (2012). An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods // *Biogeosciences*, 9: 5323-5340. DOI: [10.5194/bg-9-5323-2012](https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012)
- Dunn et al., 2017** – Dunn R.J.H., Willett K.M., Ciavarella A., Stott P.A. (2017). Comparison of land surface humidity between observations and CMIP5 models // *Earth System Dynamics*, 8: 719-47. DOI: doi.org/10.5194/esd-8-719-2017
- Endovitsky, 2017** – Endovitsky A.P., Batukaev A.A., Minkina T.M., Kalinitchenko V.P., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Mischenko N.A., Bakoyev S.Y., Zarmaev A.A., Jusupov V.U. (2017). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem // *Journal of Geochemical Exploration*, 182(B): 185-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>
- Fajardy, Dowell, 2017** – Fajardy M., Dowell N.M. (2017). Can BECCS deliver sustainable and resource efficient negative emissions? // *Energy & Environmental Science*, 10: 1389-1426. DOI: [10.1039/C7EE00465F](https://doi.org/10.1039/C7EE00465F)
- FAO, 2011** – Save and Grow (2011). A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. Rome: FAO. 116 p.
- FAO, 2015** – Soils are endangered, but the degradation can be rolled back 4 December 2015, FAO, Rome. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/news/story/ru/item/357227/icode>
- FAO, 2015** – World fertilizer trends and outlook to 2018. Rome: FAO, 2015. 66 p.

- FAOSTAT, 2017** – FAOSTAT – 2017. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/GL>
- FAO SOILS PORTAL, 2018** – FAO SOILS PORTAL [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/global-soil-health-indicators-and-assessment/global-soil-health/en/> (date of access 2018-12-07).
- Ford et al., 2011** – Ford C.R., Laseter S.H., Swank W.T., Vose J.M. (2011). Can forest management be used to sustain water-based ecosystem services in the face of climate change? // *Ecological Applications*, 21(6): 2049–67. DOI: doi.org/10.1890/10.2246.1
- Garratt et al., 2018** – Garratt M.P.D., Bommarco R., Kleijn D., Martin E., Mortimer S.R., Redlich S., Senapathi D., Steffan-Dewenter I., Świtek S., Takács V., van Gils S., van der Putten W.H., Potts S.G. (2018). Enhancing Soil Organic Matter as a Route to the Ecological Intensification of European Arable Systems // *Ecosystems*, 21(7): 1404–15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0228-2>
- Ghannoum et al., 2000** – Ghannoum O., von Caemmerer S., Ziska L.H., Conroy J.P. (2000). The growth response of C₄ plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment // *Plant, Cell and Environment* 23: 931–942. [Electronic resource]. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-3040.2000.00609.x/pdf> (date of access 2018-12-07).
- Glazko, Glazko, 2015** – Glazko V.I., Glazko T.T. (2015). Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // *International Journal of Environmental Problems*, 1(1): 4–16.
- Glazko, Sister, 2016** – Glazko V.I., Sister V.G. (2016). Biogeosystem technique as a method to attenuate the conflict between bio-, agri- and techno- spheres // *ISJ Theoretical & Applied Science*, 04(36): 46–68.
- Gong et al., 2018** – Gong J., Wang B., Jia X., Feng W., Zha T., Kellomäki S., Peltola H. (2018). Modelling the diurnal and seasonal dynamics of soil CO₂ exchange in a semiarid ecosystem with high plant–interspace heterogeneity // *Biogeosciences*, 15: 115–36. DOI: doi.org/10.5194/bg-15-115-2018
- Gorovtsov et al., 2018** – Gorovtsov A.V., Sazykin I.S., Sazykina M.A. (2018). The influence of heavy metals, polyaromatic hydrocarbons, and polychlorinated biphenyls pollution on the development of antibiotic resistance in soils // *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10): 9283–9292.
- Han et al., 2017** – Han P., Zeng N., Zhao F., Lin X. (2017). Estimating global cropland production from 1961 to 2010 // *Earth System Dynamics*, 8: 875–87. DOI: doi.org/10.5194/esd-8-875-2017
- Helfenstein et al., 2018** – Helfenstein J., Jegminat J., McLaren T.I., Frossard E. (2018). Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies // *Biogeosciences*, 15: 105–14. DOI: doi.org/10.5194/bg-15-105-2018
- Hering, 2018** – Hering J.G. (2018). Implementation Science for the Environment // *Environmental Science Technology*, 52(10): 5555–5560. DOI: [10.1021/acs.est.8b00874](https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00874)
- Hestir et al., 2015** – Hestir E.L., Brando V., Campbell G., Dekker A., Malthus T. (2015). The relationship between dissolved organic matter absorption and dissolved organic carbon in reservoirs along a temperate to tropical gradient // *Remote Sensing of Environment*, 156: 395–402. DOI: doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.022
- Hetteling et al., 2008** – Critical load, dynamic modeling and impact assessment in Europe: CCE Status Report (2008). Eds. Hetteling J.P., Slootweg J., Posch M. 234 p.
- Hicklenton, Jolliffe, 1978** – Hicklenton P.R. and Jolliffe P.A. (1978). Effects of greenhouse CO₂ enrichment on the yield and photosynthetic physiology of tomato plants // *Can. J. Plant Sci.*, 58: 801–817.
- Hileman, 2005** – Hileman B. (2005). Ice Core Record Extended. Analyses of trapped air show current CO₂ at highest level in 650,000 years // *Chemical & Engineering news*, 83(48): 7. [Electronic resource]. URL: <http://pubs.acs.org/cen/news/83/i48/8348notw1.html>
- Kaiser et al., 2002** – Kaiser K., Guggenberger G., Haumaier L., Zech W. (2002). The composition of dissolved organic matter in forest soil solutions: changes induced by seasons and passage through the mineral soil // *Organic Geochemistry*, 33(3): 307–18. DOI: [doi.org/10.1016/S0146-6380\(01\)00162-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(01)00162-0)

[Kalbitz, 2001](#) – *Kalbitz K.* (2001). Properties of organic matter in soil solution in a German fen area as dependent on land use and depth // *Geoderma*, 104: 203–14. DOI: doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00081-7

[Kalinichenko, 2005](#) – Rotating cultivator for under-humus soil layer. The international Bureau of WIPO. Geneva. Switzerland. Patent cooperation treaty WO 2005/099427 A1. International application: PCT RU/2005/000195. Classification of subject matter: A01B 13/08, 13/16, 49/02. International filing date: 15 April 2005 (15.04.2005). International publication date: 27 October 2005 (27.10.2005). Priority date: 2004111564 16 April 2004 (16.04.2004) RU. Applicant: Institut Plodorodiya Pochv Uga Rossii (IPPYUR). Inventor: Kalinichenko Valery P.

[Kalinichenko, 2010](#) – *Kalinichenko V.P.* Patent RU № 2386243 C1. Method of intra-soil pulse discrete watering. IPC A01G 25/06 (2006.01) A01S 23/02 (2006.01). Patentee Kalinichenko V.P. Application number 2009102490 on 16.01.09 . Published on 20.04.2010. Bull. No. 11. 9 p: 4 fig.

[Kalinichenko, 2015](#) – *Kalinichenko V.* (2015). Creating soil supply systems and irrigation methods for botanical gardens on the method of Biogeosystem Technique / The role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27-30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 50–54.

[Kalinitchenko, 2016](#) – *Kalinitchenko V.P.* (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review) // *International Journal of Environmental Problems*, 2(4): 99–130. DOI: 10.13187/ijep.2016.4.99

[Kalinitchenko, 2017](#) – *Kalinitchenko V.P.* (2017). Renewal of Energy and Life in the Biosphere // *European Journal of Renewable Energy*, 2(1): 3–28. DOI: 10.1318.7/ejore.2017.1.3.

[Kalinichenko et al., 2010](#) – *Kalinitchenko V., Batukaev A., Minkina T., Solntseva N., Skoupen A., Zarmaev A., Jusupov V., Lohmanova O.* (2014). Biogeosystem technique – the fundamental base of modern Water Policy and Management // *Geophysical Research Abstracts*, EGU General Assembly 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17014, Vienna.

[Kalinichenko et al., 2011](#) – *Kalinichenko V.P., Sharshak V.K., Bezuglova O.S., Ladan E.P., Genev E.D., Illarionov V.V., Zinchenko V.E., Morkovskoi N.A., Chernenko V.V., and Il'ina L.P.* (2011). Changes in the Soils of Solonetzic Associations in 30 Years after Their Reclamation with the Use of Moldboard Plowing, Deep Tillage with a Three-Tier Plow, and Deep Rotary Tillage // *Eurasian Soil Science*, 44(8): 927–938. DOI: 10.1134/S1064229311080060

[Kalinichenko et al., 2013](#) – *Kalinichenko V.P., Batukaev A.A., Zarmaev A.A., Chulkov V.V., Mamilov B.B., Chernenko V.V., Lohmanova O.I.* (2013). Patent RU № 2498550 C2. Method of trees planting. IPC A01B 79/ 02. Application number 2012102879 (004261) from 27.01.2012. Published on 20.11.2013. Bull. No. 32. 4 p: fig.

[Kalinichenko et al., 2014](#) – *Kalinichenko, V.P., Sharshak, V.K., Mironchenko, S.F., Chernenko, V.V., Ladan, E. P., Genev, E.D., Illarionov, V.V., Udalov, A.V., Udalov, V.V., Kippel, E.V.* (2014). Changes in the properties of soils in a solonetz soil complex thirty years after reclamation // *Eurasian Soil Science*, 47(4): 319–333. DOI: 10.1134/S1064229314040024

[Kalinichenko et al., 2015](#) – *Kalinitchenko V.P., Zarmaev A.A., Minkina T.M., Startsev V.F., Usupov V.U.* (2015). Implementation of the Principals of Geoethics to Technologies of Biosphere by Biogeosystem Technique // Role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27-30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 452–456.

[Kalinitchenko et al., 2016](#) – *Kalinitchenko V., Batukaev A., Zarmaev A., Startsev V., Chernenko V., Dikaev Z., Sushkova S.* (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate // *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-3419 EGU General Assembly. Vienna.

[Kalinitchenko et al., 2017](#) – *Kalinitchenko V., Batukaev A., Batukaev M., and Minkina T.* (2017). Biogeosystem Technique as a method to correct the climate // *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 19, EGU2017-2540, EGU General Assembly, Vienna, 23 – 28 April 2017.

[Kalinichenko et al., 2018](#) – Kalinichenko V.P., Glinushkin A.P., Sokolov M.S., Zinchenko V.E., Minkina T.M., Mandzhiyeva S.S., Sushkova S.N., Makarenkov D.A., Bakoyev S.Y., Il'ina L.P. (2018). Impact of soil organic matter on calcium carbonate equilibrium and forms of Pb in water extracts from Kastanozem complex // *J Soils & Sediments*, September: 1(12). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2123-z>

[Kalinichenko, Starcev, 2015](#) – Kalinichenko V.P., Starcev V.F. (2015). Recycling of Poultry Litter by Method of Biogeosystem Technique // *International Journal of Environmental Problems*, 1: 17–48.

[Kalinina et al., 2015](#) – Kalinina O., Giani L., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Chertov O., Barmin A.N. (2015). Self-restoration of post-agrogenic soils of calcisol-solonetz complex: soil development, carbon stock dynamics of carbon pools // *Geoderma*, 237: 117–128.

[Korost et al., 2012](#) – Korost D.V., Gerke K.M., Skvortsova E.B. (2012). Exploration soil structure by X-ray tomography: examples of Russian soil and prospects of the method / *Proceedings of the VI Congress of the Soil Science Society of VV Dokuchaev*. Petrozavodsk-Moscow, 13–18 August 2012. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center RAS

[Kudeyarov, 2015](#) – Kudeyarov V.N. (2015). Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration // *Eurasian Soil Science*, 48(9): 923–933. DOI:10.1134/S1064229315090070

[Kurganova et al., 2010](#) – Kurganova I.N., Kudeyarov V.N., Lopes De Gerenyu V.O. (2010). Updated estimate of carbon balance on Russian territory // *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 62(5): 497–505.

[Lal, 2004](#) – Lal R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change // *Geoderma*, 123(1): 1–22. DOI: doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032

[Lal, 2008](#) – Lal R. (2008). Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbonpools // *Energy & Environmental Science*, 1: 86–100. DOI: 10.1039/B809492F

[Lapin, Lyagushkin, 2014](#) – Lapin A.V., Lyagushkin A.P. (2014), The Kovdor apatite-francolite deposit as a prospective source of phosphate ore // *Geology of Ore Deposits*, 56(1): 61–80. [Electronic resource]. URL: <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1075701513060056>

[Laudicina et al., 2013](#) – Laudicina V.A., Palazzolo E., Badalucco L. (2013). Natural Organic Compounds in Soil Solution: Potential Role as Soil Quality Indicators // *Current Organic Chemistry*, 17(24): 2991–97. DOI: 10.2174/13852728113179990120

[Le et al., 2011](#) – Le Phong V.V., Praveen Kumar, and Darren T. Drewry (2011). Implications for the hydrologic cycle under climate change due to the expansion of bioenergy crops in the Midwestern United States // *PNAS*, 108(37): 15085–15090. DOI: 10.1073/pnas.1107177108

[Lee et al., 2010](#) – Lee J.W., Hawkins B., Day D.M., and Reicosky D.C. (2010). Sustainability: the capacity of smokeless biomasspyrolysis for energy production, global carboncapture and sequestration // *Energy & Environment Science*, 3: 1695–1705. DOI: 10.1039/C004561F

[Lin et al., 2018](#) – Lin L., Gettelman A., Fu Q. Xu Y. (2018). Simulated differences in 21st century aridity due to different scenarios of greenhouse gases and aerosols // *Climatic Change*, 146(3–4): 407–422.

[Lisetskii et al., 2015](#) – Lisetskii F., Marinina O., Stolba V.F. (2015). Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, steppe Crimea // *Geoderma*, 239–240: 304–316.

[Lizik et al., 2013](#) – Lizik W., Im J., Semrau J.D., Barcelona M.J. (2013). A field trial of nutrient stimulation of methanotrophs to reduce greenhouse gas emissions from landfill cover soils // *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63(3): 300–309. DOI: 10.1080/10962247.2012.755137

[López-Ballesteros et al., 2018](#) – López-Ballesteros A., Oyonarte C., Kowalski A.S., Serrano-Ortiz P., Sánchez-Cañete E.P., Moya M.R., Domingo F. (2018). Can land degradation drive differences in the C exchange of two similar semiarid ecosystems? // *Biogeosciences*, 15: 263–78. DOI: doi.org/10.5194/bg-15-263-2018

[Mansvelt Van, 2017](#) – Mansvelt Van J.D. (2017). Soil Fertility in Agriculture: Russia – Western Europe – USA: in the Past and Today // *Biogeosystem Technique*, 4(2): 220–231. DOI: 10.13187/bgt.2018.1.87

[Miao et al., 2011](#) – Miao Y., Stewart B.A., Zhang F. (2011). Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review // *Agronomy for Sustainable Development*, 31: 397–414. DOI: 10.1051/agro/2010034

Minasny et al., 2017 – Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Angers D.A., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.-S., Cheng K., Das B.S., Field D.J., Gimona A., Hedley C.B., Hong S.Y., Mandal B., Marchant B.P., Martin M., McConkey B.G.,... Winowiecki L. (2017). Soil carbon 4 per mille // *Geoderma*, 292(15): 59–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

Popovskaya et al., 2011 – Popovskaya G.I., Sorokovnikova L.M., Tomberg I.V., Bashenkhaeva N.V., Tashlykova N.A. (2011). Chemical composition characteristics of water and phytoplankton development in Lake Zavernyaikha // *Geography and Natural Resources*, 32(4): 344–9. DOI: 10.1134/S187537281104007X

Post et al., 2018 – Post H., Hendricks Franssen H.-J., Han X., Baatz R., Montzka C., Schmidt M., Vereecken H. (2018). Evaluation and uncertainty analysis of regional-scale CLM4.5 net carbon flux estimates // *Biogeosciences*, 15: 187–208. doi.org/10.5194/bg-15-187-2018

Qualls, 2016 – Qualls R.G. (2016). Long-Term (13 Years) Decomposition Rates of Forest Floor Organic Matter on Paired Coniferous and Deciduous Watersheds with Contrasting Temperature Regimes // *Forests*, 7(10): 231.

Qualls et al., 2009 – Qualls R.G., Sherwood L.J., Richardson C.J. (2009). Effect of natural dissolved organic carbon on phosphate removal by ferric chloride and aluminum sulfate treatment of water in wetlands // *Water Resources Research*, 45(9): 9414–23. DOI: 10.1029/2008WR007287

Rascher et al., 2004 – Rascher U., Bobich E.G., Lin G.H., Walter A., Morris T., Nichol C.J., Pierce D., Bil K., Berry J.A., Naumann M., Kudayarov V. (2004). Functional diversity of photosynthesis during drought in a model tropical rainforest – the contributions of leaf area, photosynthetic electron transport and stomatal conductance to reduction in net ecosystem carbon exchange // *Plant, Cell & Environment*, 27(10): 1239–1256.

Rothman, 2015 – Rothman D.H. (2015). Earth's carbon cycle: A mathematical perspective // *Bulletin of American Mathematic Society*, 52: 47–64. DOI: <https://doi.org/10.1090/S0273-0979-2014-01471-5>

Ruddiman, 2003 – Ruddiman W.F. (2003). The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago // *Climatic Change*, 61(3): 261–293.

Sazykin et al., 2016 – Sazykin I.S., Sazykina M.A., Khmelevtsova L.E., Mirina E.A., Kuddevskaya E.M., Rogulin E.A., Rakin A.V. (2016). Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of southern Russia and southern Germany // *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(3): 945–954.

Schlüter, Vogel, 2016 – Schlüter S., Vogel H.-J. (2016). Analysis of Soil Structure Turnover with Garnet Particles and X-Ray Microtomography // *PLoS One*, 11(7): e0159948. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159948>

Schäfer et al., 2003 – Schäfer K.V.R., Oren R., Ellsworth D.S., Chun-Ta Lai, Herrick J.D., Finzi A.C., Richter D.D., Katul G.G. (2003). Exposure to an enriched CO₂ atmosphere alters carbon assimilation and allocation in a pine forest ecosystem // *Global Change Biology*, 9(10): 1378–1400. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00662.x>

Serrano et al., 2012 – Serrano D.P., Dufour J., Iribarren D. (2012). On the feasibility of producing hydrogen with net carbon fixation by the decomposition of vegetable and microalgal oils // *Energy & Environmental Science*, 5: 6126–6135. DOI: 10.1039/C2EE02709G

Shein et al., 2014a – Shein E.V., Erol S.A., Milanovskii E.Yu., Verkhovtseva N.V., Mikayilov F.D., Er F., and Ersahin S. (2014). Agrophysical Assessment of Alluvial Calcareous Soils of the Cumra Region of Central Anatolia in Turkey // *Eurasian Soil Science*, 47(7): 694–698.

Shein et al., 2014b – Shein E.V., Skvortsova E.B., Abrosimov K.N. (2014). Tomographic studies of the soil pore space in swelling and shrinkage processes // Abstract book. 9th International Soil Science Congress on "The Soul of Soil and Civilization", Soil Science of Turkey Cooperation with Federation of Eurasian Soil Science Societies, P. 107.

Shein et al., 2017 – Shein E.V., Kharitonova G.V., Amgalan B., Sambuu G., Krutikova V.O., Kharitonov E.V. (2017). Salt Neof ormations in Soils of Central Mongolia // *Biogeosystem Technique*, 4(1): 66–81. DOI: 10.13187/bgt.2017.1.66

Shelby et al., 2011 – Shelby G., Laird C.R., Ford S.H., Laseter J.M., Vose J.M. (2011). Long-term forest management and climate effects on streamflow // *Proceedings of The Fourth Interagency Conference on Research in the Watersheds*. Fairbanks, AK, USA; 26–30 September 2011, pp. 108–13.

Spencer et al., 2012 – Spencer R.G.M., Butler K.D., Aiken G.R. (2012). Dissolved organic carbon and chromophoric dissolved organic matter properties of rivers in the USA // *Journal of Geophysical Research*, 117(G3). DOI: 10.1029/2011JG001928.

Stocker, 2014 – Stocker T. (ed.). (2014). Climate change: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York Cambridge University Press, ISBN 978-1-10741-532-4. OCLC 881236891

Swann et al., 2016 – Swann A.L.S., Hoffman F.M., Koven C.D., and Randerson J.T. (2016). Plant responses to increasing CO₂ reduce estimates of climate impacts on drought severity // *PNAS*, 113(36): 10019–10024, DOI: 10.1073/pnas.1604581113

TehTab, 2017 – TehTab.ru [Electronic resource]. URL: <http://tehtab.ru/Guide/GuideMedias/Co2/CO2acceptableLevels/> (date of access 2018-12-07)

Thayer, 2017 – Thayer R.H. (2017). Carbon Dioxide Enrichment Methods. Hydrofarm // *Eco Enterprises*, https://www.hydrofarm.com/resources/articles/co2_enrichment.php (date of access 2018-12-07)

Thurman, 1985 – Thurman E.M. (1985). Amount of Organic Carbon in Natural Waters. *Organic Geochemistry of Natural Waters // Developments in Biogeochemistry*, 2: 7–65. DOI: doi.org/10.1007/978-94-009-5095-5_2

Urpelainen, 2012 – Urpelainen J. (2012). Geoengineering and global warming: a strategic perspective // *International Environmental Agreements*, 12: 375. <https://doi.org/10.1007/s10784-012-9167-0>

Uselman et al., 2012 – Uselman S.M., Qualls R.G., Liliencron J. (2012). Quality of soluble organic C, N, and P produced by different types and species of litter: root litter versus leaf litter // *Soil Biology and Biochemistry*, 54: 57–67. DOI: doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.021

USEPA, 2018 – USEPA. Overview of Greenhouse Gases. <https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/n2o.html>

Vanden Bygaart, 2018 – Vanden Bygaart A.J. (2018). Comments on soil carbon 4 per mille by Minasny and other 2017 // *Geoderma*, 309 (1): 113–4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.024>

Virto et al., 2011 – Virto I., Gartzia-Bengoetxea N, Fernández-Ugalde O. (2011). Role of Organic Matter and Carbonates in Soil Aggregation Estimated Using Laser Diffractometry // *Pedosphere*, 21(5): 566–72. DOI: doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60158-6

Wimde, 2018 – Wimde V. (2018). Soil carbon 4 per mille: a good initiative but let's manage not only the soil but also the expectations: Comment on Minasny and other (2017), *Geoderma* 292: 59–86 // *Geoderma*, 309(1): 111–2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.023>

Wittwer, Strain, 1985 – Wittwer S.H., Strain B.R. (1985). Carbon dioxide levels in the biosphere: Effects on plant productivity // *Critical Reviews in Plant Science*, 2(3): 171–198. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07352688509382195>

Wood, 2014 – Wood E.F. (2014). The Challenges of Developing a Framework for Global Water Cycle Monitoring and Predicting // Alfred Wegener Medal Lecture. EGU General Assembly. Vienna, Wednesday, 30, April.

Wu et al., 2013 – Wu Z., Lall U., Zhao M. (2013). Worldwide Comparison of Water Use Efficiency of Crop Production // *Applied Mechanics and Materials*, 275: 2718–2722.

Wu et al., 2016 – Wu L., Chen J., Wu H., Qin X., Wang J., Wu Y., Khan M.U., Lin S., Xiao Z., Luo X., Zhang Z. and Lin W. (2016). Insights into the Regulation of Rhizosphere Bacterial Communities by Application of Bio-organic Fertilizer in *Pseudostellaria heterophylla* Monoculture Regime // *Frontiers of Microbiology*, 7: 1788. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01788

Zaitseva et al., 2013 – Zaitseva R.I., Nikitina N.S., Sudnitsyn I.I. (2003). The effect of the concentration and osmotic pressure of soil solution on the availability of water to plants // *Eurasian Soil Science*, 36(9): 1003–1009.

Zalinger Van et al., 2017 – Van Zalinger B.C., Feng Q.Y., Aengenheyster M., Dijkstra H.A. (2017). On determining the point of no return in climate change // *Earth System Dynamics*, 8: 707–17. DOI: doi.org/10.5194/esd-8-707-2017

Zhu et al., 2016 – Zhu Z., Piao S., Myneni R.B., Huang M., Zeng Z., Canadell J.G., Ciais P., Sitch S., Friedlingstein P., Arneeth A., Cao C., Cheng L., Kato E., Koven C., Li Y., Lian X., Liu Y., Liu R., Mao J., Pan Y., Peng S., Peñuelas J., Poulter B., Pugh T.A.M., Stocker B.D., Viouy

N., Wang X., Wang Y., Xiao Z., Yang H., Zaehle S., Zeng N. (2016). Greening of the Earth and its drivers // *Nature Climate Change*, 6(8): 791–95. DOI: 10.1038/nclimate3004.

Zubrzycki et al., 2013 – Zubrzycki S., Kutzbach L., Grosse G., Desyatkin A., Pfeiffer E.-M. (2013). Organic carbon and total nitrogen stocks in soils of the Lena River Delta // *Biogeosciences* 10: 3507–24. DOI: doi.org/10.5194/bg-10-3507-2013

References

Agaltseva et al., 2011 – Agaltseva N.A., Bolgov M.V., Spektorman T.Yu., Trubetskova MD, Chub V.E. (2011). Estimation of hydrological characteristics in the Amudarya basin under conditions of climate change. *Meteorology and Hydrology*, 10: 58–69.

Akatov, 2013 – Akatov P.V. (2013). Plant Response to an Increase in Carbon Dioxide Concentration in the Atmosphere. *Live and Bioinert Systems*, 5.

Alekseev, 2014 – Alekseev A.V. (2014). Government programs: real or nominal tool for managing the economy? *Economist*, 6: 20–27

Altieri et al., 2018 – Altieri V., De Franco S., Lombardi F., Marziliano P.A., Menguzzato G., Porto P. (2018). The role of silvicultural systems and forest types in preventing soil erosion processes in mountain forests: a methodological approach using cesium-137 measurements. *Journal of Soils & Sediments*, 18: 3378. DOI: https://doi.org/10.1007/s11368-018-1957-8

Ananyeva et al., 2016 – Ananyeva N.D., Rogovaya S.V., Ivashchenko K.V., Vasenev V.I., Sarzhanov D.A., Ryzhkov O.V., Kudayarov V.N. (2016). Carbon dioxide emission and soil microbial respiration activity of chernozems under anthropogenic transformation of terrestrial ecosystems. *Eurasian Soil Science*, 5: 146.

Apestequiá et al., 2016 – Apestequiá M., Virto I., Plante A. (2016). Role of carbonates in soil organic matter stabilization in agricultural Mediterranean soils. *Geophysical Research Abstracts*, EGU2016–17677.

Arnold, 2014 – Arnold T. (2014). Policy considerations for food and nutrition security towards 2050 // 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH IUPAC International Congress of Pesticide Chemistry. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10-14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. p. 217.

Atmospheric Methane, 2018 – Atmospheric Methane: Sources, Sinks, and Role in Global Change / Edited: M.A.K. Khalil. NATO ASI Series. Series I. *Environmental global change*, 13. DOI: 10.1007/978-3-642-84605-2 (date of access 2018-12-07).

Barron-Gafford et al., 2005 – Barron-Gafford G., Grieve K., Biel K., Martens D., McLain J.E.T., Kudayarov V., Lipson D., Murthy R. (2005). Growth of Eastern cottonwoods (*Populus deltoides*) in elevated [CO₂] stimulates stand-level respiration and rhizodeposition of carbohydrates, accelerates soil nutrient depletion, yet stimulates above- and belowground biomass production. *Global Change Biology*, 11(8): 1220–1233.

Batjes, 2016 – Batjes N.H. (2016). Harmonised soil property values for broad-scale modelling (WISE30sec) with estimates of global soil carbon stocks. *Geoderma*, 269: 61–8. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.01.034

Batukaev et al., 2016 – Batukaev A.A., Endovitsky A.P., Andreev A.G., Kalinichenko V.P., Minkina T.M., Dikaev Z.S., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N. (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink. *Solid Earth*, 7(2): 415–23. DOI: 10.5194/se-7-415-2016

Batukaev et al., 2018 – Batukaev A.A., Kalinichenko V.P., Rykhlik A.E., Palaeva D.O. (2018). Intra-Soil Pulse Continuum-Discrete Moistening for Soil and Water Preservation. *Advances in Engineering Research*, 151: 905–911. Atlantis Press.

Bech et al., 2014 – Bech J., Korobova E., Abreu M., Bini C., Chon H.T., Pérez-Sirvent C. (2014). Soil pollution and reclamation. *Journal of Geochemical Exploration*, 147: 77–9. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.11.001

Belyuchenko, 2016 – Belyuchenko I.S. (2016). The use of complex composts to improve soil fertility. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 1: 55–69.

- Blagodatskaya et al., 2014 – Blagodatskaya E., Kuzyakov Y., Blagodatsky S., Anderson T.-H. (2014). Microbial Growth and Carbon Use Efficiency in the Rhizosphere and Root-free soil. *PLoS ONE*, 9(4): e93282.
- Bloem et al., 2006 – Microbiological Methods for Assessing Soil Quality / Ed. by J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti. CAB Publishing UK, USA, 2006. 301 p.
- Blum, Eswaran 2004 – Blum W.E.H. & Eswaran H. (2004). Editorial: soils and sediments in the anthropocene. *Journal of Soils & Sediments* 4: 71. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02991046>
- Bohle, 2017 – Bohle M. (2017). Ideal-Type Narratives for Engineering a Human Niche ,*Geosciences*, 7(1): 18. DOI: 10.3390/geosciences7010018
- Bohle, Erle, 2017 – Bohle M., Erle E.C. (2017). Furthering Ethical Requirements for Applied Earth Science. *Annals of Geophysics*, 60(7). DOI: 10.4401/ag-7401
- Borisenkov, Pichugin, 2001 – Borisenkov E.P., Pichugin Yu.A. (2001). Possible negative scenarios of the dynamics of the biosphere as a result of anthropogenic activity. *Reports of the Academy of Sciences*, 378(6): 812–814.
- Burns et al., 2006 – Burns R.G., Nannipieri P., Benedetti A., Hopkins D.W. (2006). Defining Soil Quality, *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, J. Bloem, D.W. Hopkins, and A. Benedetti (Eds.) CAB Publishing. UK. USA, pp. 15–22.
- Carmichael et al., 2014 – Carmichael M.J., Bernhardt E.S., Bräuer S.L., Smith W.K. (2014). The role of vegetation in methane flux to the atmosphere: should vegetation be included as a distinct category in the global methane budget? *Biogeochemistry*, 119 (1): 1–24. DOI: 10.1007/s10533-014-9974-1
- Carvalhais et al., 2014 – Carvalhais N., Forkel M., Khomik M., Bellarby J., Jung M., Migliavacca M., Mu M., Saatchi S., Santoro M., Thurner M., Weber U., Ahrens B., Beer C., Cescatti A., Randerson J.T. & Reichstein M. (2014), Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems. *Nature*, 514(7521): 213–217. DOI: 10.1038/nature13731
- Cheshko et al., 2014 – Cheshko V.T., Ivanitskaya L.V., Kosova Yu.V. (2014). Configuration of Stable Evolutionary Strategy of Homo Sapiens and Evolutionary Risks of Technological Civilization (the Conceptual Model Essay). *Biogeosystem Technique*, 1(1): 58–68.
- Cuomo, 2017 – Cuomo C.J. (2017). Against the Idea of an Anthropocene Epoch: Ethical, Political and Scientific Concerns, *Biogeosystem Technique*, 4(1): 4–8. DOI: 10.13187/bgt.2017.1.4
- Demkin et al., 2012 – Demkin V.A., Borisov A.V., Demkina TS, Udaltsov S.N. (2012). The evolution of the soil and the climate dynamics of the steppes of the southeast of the Russian plain in the eunite and bronze epochs (IV-II millennium BC). *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series*, 1: 46–57.
- Dobrovolsky, 2012 – Dobrovolsky G.V. (2012). Biosphere as a shell of high concentration and diversity of life on planet Earth / Soils in the biosphere and human life. M.: FGBOU VPO MGUL. pp. 20–34.
- Dolman et al., 2012 – Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchebakova N., Chen T., van der Molen M.K., Belelli Marchesini L., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D. (2012). An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods. *Biogeosciences*, 9: 5323–5340. DOI: 10.5194/bg-9-5323-2012
- Dunn et al., 2017 – Dunn R.J.H., Willett K.M., Ciavarella A., Stott P.A. (2017). Comparison of land surface humidity between observations and CMIP5 models. *Earth System Dynamics*, 8: 719–47. DOI: doi.org/10.5194/esd-8-719-2017
- Endovitsky, 2017 – Endovitsky A.P., Batukaev A.A., Minkina T.M., Kalinitchenko V.P., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Mischenko N.A., Bakoyev S.Y., Zarmaev A.A., Jusupov V.U. (2017). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem. *Journal of Geochemical Exploration*, 182(B): 185–192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>
- Fajardy, Dowell, 2017 – Fajardy M., Dowell N.M. (2017). Can BECCS deliver sustainable and resource efficient negative emissions? *Energy & Environmental Science*, 10: 1389–1426. DOI: 10.1039/C7EE00465F
- FAO SOILS PORTAL, 2018 – FAO SOILS PORTAL [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/global-soil-health-indicators-and-assessment/global-soil-health/en/> (date of access 2018-12-07). (date of access 2018-12-07).

- FAO, 2011 – Save and Grow (2011). A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. Rome: FAO. 116 p.
- FAO, 2015 – Soils are endangered, but the degradation can be rolled back 4 December 2015, FAO, Rome [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/news/story/ru/item/357227/icode>
- FAO, 2015 – World fertilizer trends and outlook to 2018. Rome: FAO, 2015. 66 p.
- FAOSTAT, 2017 – FAOSTAT – 2017. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/GL>
- Ford et al., 2011 – Ford C.R., Laseter S.H., Swank W.T., Vose J.M. (2011). Can forest management be used to sustain water-based ecosystem services in the face of climate change? *Ecological Applications*, 21(6): 2049–67. DOI: doi.org/10.1890/10.2246.1
- Garratt et al., 2018 – Garratt M.P.D., Bommarco R., Kleijn D., Martin E., Mortimer S.R., Redlich S., Senapathi D., Steffan-Dewenter I., Świtek S., Takács V., van Gils S., van der Putten W.H., Potts S.G. (2018). Enhancing Soil Organic Matter as a Route to the Ecological Intensification of European Arable Systems. *Ecosystems*, 21(7): 1404–15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0228-2>
- Ghannoum et al., 2000 – Ghannoum O., von Caemmerer S., Ziska L.H., Conroy J.P. (2000). The growth response of C₄ plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment, *Plant, Cell and Environment*, 23: 931–942. [Electronic resource]. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-3040.2000.00609.x/pdf> (date of access 2018-12-07).
- Glagolev et al., 2012 – Glagolev M.V., Filippov I.V., Kleptsova I.E. (2012). Emission and absorption of methane in Russian soil, Bogs and biosphere: Proceedings of VIII All-Russian international scientific school participation (September 10–15, 2012, Tomsk). Tomsk: Publishing house of Tomsk State Pedagogical University, pp. 32–41.
- Glazko, Glazko, 2015 – Glazko V.I., Glazko T.T. (2015). Conflicts of Biosphere and Agroecosystems. *International Journal of Environmental Problems*, 1(1): 4–16.
- Glazko, Sister, 2016 – Glazko V.I., Sister V.G. (2016). Biogeosystem technique as a method to attenuate the conflict between bio-, agri- and techno- spheres. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 04(36): 46–68.
- Glinushkin et al., 2016 – Glinushkin A.P., Sokolov M.S., Toropova E.Yu. (2016). Phytosanitary and hygienic requirements for healthy soil. M.: Agrorus. 288 p.
- Gong et al., 2018 – Gong J., Wang B., Jia X., Feng W., Zha T., Kellomäki S., Peltola H. (2018). Modelling the diurnal and seasonal dynamics of soil CO₂ exchange in a semiarid ecosystem with high plant–interspace heterogeneity. *Biogeosciences*, 15: 115–36. DOI: doi.org/10.5194/bg-15-115-2018
- Gorovtsov et al., 2018 – Gorovtsov A.V., Sazykin I.S., Sazykina M.A. (2018). The influence of heavy metals, polyaromatic hydrocarbons, and polychlorinated biphenyls pollution on the development of antibiotic resistance in soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10): 9283–9292.
- Gurbanov et al., 2018 – Gurbanov E.A., Ramazanov F.M., Dunyamalieva N.Ya., Gazieva P.Ch. (2018). Changes in the basic indicators of soil fertility during irrigation of the dry subtropical steppes of the Azerbaijan Republic. *Agrochemistry*, 11: 19–26. DOI: [10.1134/S0002188118110054](https://doi.org/10.1134/S0002188118110054)
- Han et al., 2017 – Han P., Zeng N., Zhao F., Lin X. (2017). Estimating global cropland production from 1961 to 2010. *Earth System Dynamics*, 8: 875–87. DOI: doi.org/10.5194/esd-8-875-2017
- Helfenstein et al., 2018 – Helfenstein J., Jegminat J., McLaren T.I., Frossard E. (2018). Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies. *Biogeosciences*, 15: 105–14. DOI: doi.org/10.5194/bg-15-105-2018
- Hering, 2018 – Hering J.G. (2018). Implementation Science for the Environment. *Environmental Science Technology*, 52(10): 5555–5560. DOI: [10.1021/acs.est.8b00874](https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00874)
- Hestir et al., 2015 – Hestir E.L., Brando V., Campbell G., Dekker A., Malthus T. (2015). The relationship between dissolved organic matter absorption and dissolved organic carbon in reservoirs along a temperate to tropical gradient. *Remote Sensing of Environment*, 156: 395–402. DOI: doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.022

Hettelingh et al., 2008 – Critical load, dynamic modeling and impact assessment in Europe: CCE Status Report (2008). Eds. *Hettelingh J.P., Slootweg J., Posch M.* 234 p.

Hicklenton, Jolliffe, 1978 – *Hicklenton P.R., Jolliffe P.A.* (1978). Effects of greenhouse CO₂ enrichment on the yield and photosynthetic physiology of tomato plants. *Can. J. Plant Sci.*, 58: 801–817.

Hileman, 2005 – *Hileman B.* (2005). Ice Core Record Extended. Analyses of trapped air show current CO₂ at highest level in 650,000 years. *Chemical & Engineering news*, 83(48): 7. [Electronic resource]. URL: <http://pubs.acs.org/cen/news/83/i48/8348notw1.html>

Kaiser et al., 2002 – *Kaiser K., Guggenberger G., Haumaier L., Zech W.* (2002). The composition of dissolved organic matter in forest soil solutions: changes induced by seasons and passage through the mineral soil. *Organic Geochemistry*, 33(3): 307–18. DOI: [doi.org/10.1016/S0146-6380\(01\)00162-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(01)00162-0)

Kalbitz, 2001 – *Kalbitz K.* (2001). Properties of organic matter in soil solution in a German fen area as dependent on land use and depth. *Geoderma*, 104: 203–14. DOI: [doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00081-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00081-7).

Kalinichenko et al., 2010 – *Kalinichenko V., Batukaev A., Minkina T., Solntseva N., Skoupen A., Zarmaev A., Jusupov V., Lohmanova O.* (2014). Biogeosystem technique – the fundamental base of modern Water Policy and Management, *Geophysical Research Abstracts*. EGU General Assembly 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17014, Vienna.

Kalinichenko et al., 2011 – *Kalinichenko V.P., Sharshak V.K., Bezuglova O.S., Ladan E.P., Genev E.D., Illarionov V.V., Zinchenko V.E., Morkovskoi N.A., Chernenko V.V., and Il'ina L.P.* (2011). Changes in the Soils of Solonchic Associations in 30 Years after Their Reclamation with the Use of Moldboard Plowing, Deep Tillage with a Three-Tier Plow, and Deep Rotary Tillage, *Eurasian Soil Science* 44(8): 927–938. DOI: [10.1134/S1064229311080060](https://doi.org/10.1134/S1064229311080060)

Kalinichenko et al., 2013 – *Kalinichenko V.P., Batukaev A.A., Zarmaev A.A., Chulkov V.V., Mamilov B.B., Chernenko V.V., Lohmanova O.I.* (2013). Patent RU № 2498550 C2. Method of trees planting. IPC A01B 79/ 02. Application number 2012102879 (004261) from 27.01.2012. Published on 20.11.2013. Bull. No. 32. 4 p : fig.

Kalinichenko et al., 2013 – *Kalinichenko V.P., Ilyin V.B., Endovitsky A.P., Chernenko V.V.* (2016). Patent for invention RU № 2476055 C2. The method of synthesis of substances within the fine system. IPC Cl. A01C 23/00 (2006.01). Application No. 2011100187/21 (000278) dated January 11, 2011. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on February 27, 2013. Published on February 27, 2013. Bul. No. 6. 7 p.: 2 fig.

Kalinichenko et al., 2014 – *Kalinichenko V.P., Sharshak V.K., Ladan E.P., Illarionov V.V., Genev E.D.* (2014). Technical means of subsurface loosening with low traction resistance. *Bulletin of the Don State Technical University*, 14(2-77): 151–163. DOI: [10.12737 / 4467](https://doi.org/10.12737/4467).

Kalinichenko et al., 2014 – *Kalinichenko V.P., Sharshak V.K., Mironchenko S.F., Chernenko V.V., Ladan E.P., Genev E.D., Illarionov V.V., Udalov A.V., Udalov V.V., Kippel E.V.* (2014). Changes in the properties of soils in a solonchic soil complex thirty years after reclamation. *Eurasian Soil Science*, 47(4): 319–333. DOI: [10.1134/S1064229314040024](https://doi.org/10.1134/S1064229314040024)

Kalinichenko et al., 2015 – *Kalinichenko V.P., Zarmaev A.A., Minkina T.M., Startsev V.F., Usupov V.U.* (2015). Implementation of the Principles of Geoethics to Technologies of Biosphere by Biogeosystem Technique // Role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27-30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 452–456.

Kalinichenko et al., 2018 – *Kalinichenko V.P., Glinushkin A.P., Sokolov M.S., Kozyrev S.G., Savostyanov A.P., Ilyin V.B.* (2018). Gasification waste utilization complex. IPC C10J 3/06 (2006.01) C10J 3/46 (2006.01) F23B 40/02 (2006.01). Application to FIPS No. 2018100555/05 (000677) of 04.13.2018.

Kalinichenko et al., 2018 – *Kalinichenko V.P., Glinushkin A.P., Sokolov M.S., Zinchenko V.E., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Makarenkov D.A., Bakoyev S.Y., Il'ina L.P.* (2018). Impact of soil organic matter on calcium carbonate equilibrium and forms of Pb in water extracts from Kastanozem complex. *J Soils & Sediments*, September: 1(12). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2123-z>

[Kalinichenko, 2005](#) – Rotating cultivator for under-humus soil layer. The international Bureau of WIPO. Geneva. Switzerland. Patent cooperation treaty WO 2005/099427 A1. International application: PCT RU/2005/000195. Classification of subject matter: A01B 13/08, 13/16, 49/02. International filing date: 15 April 2005 (15.04.2005). International publication date: 27 October 2005 (27.10.2005). Priority date: 2004111564 16 April 2004 (16.04.2004) RU. Applicant: Institut Plodorodiya Pochv Uga Rossii (IPPYUR). Inventor: Kalinichenko Valery P.

[Kalinichenko, 2010](#) – *Kalinichenko V.P.* (2010). Patent for invention RU No. 2387115 C2. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on April 27, 2010. The device for introducing a substance in case of rotational subsurface loosening. Patentee IPPYUR. IPC ABB 33/02 (2006.01) A01C 23/00 (2006.01). Application No. 2008124500/12 (029710) of 06/16/2008. Published 04/27/2010. Bul. No. 12. 6 p.

[Kalinichenko, 2010](#) – *Kalinichenko V.P.* Patent RU № 2386243 C1. Method of intra-soil pulse discrete watering. IPC A01G 25/06 (2006.01) A01S 23/02 (2006.01). Patentee Kalinichenko V.P. Application number 2009102490 on 16.01.09. Published on 20.04.2010. Bull. No. 11. 9 p: 4 fig.

[Kalinichenko, 2015](#) – *Kalinichenko V.* (2015). Creating soil supply systems and irrigation methods for botanical gardens on the method of Biogeosystem Technique // The role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27-30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 50–54.

[Kalinichenko, 2016](#) – *Kalinichenko V.P.* (2016). Biogeosystems – an innovative method of soil productivity and health management / In the book: “Modern problems of herbology and soil rehabilitation”. Materials of the International scientific-practical conference. June 21–23, 2016. Big Vyazemy. RAS. pp. 246–263.

[Kalinichenko, Starcev, 2015](#) – *Kalinichenko V.P., Starcev V.F.* (2015). Recycling of Poultry Litter by Method of Biogeosystem Technique. *International Journal of Environmental Problems*, 1: 17-48.

[Kalinichenko, Startsev, 2013](#) – *Kalinichenko V.P., Startsev V.F.* (2013). Patent RU 2552076 C1. Method of disposal of slaughterhouse waste. IPC B09C 1/00 (2006.01) B09B 3/00 (2006.01) C09F 1/00 (2006.01) C08L 89/04 (2006/01). Application No. 2013154612/17 (085276) dated December 9, 2013. Posted 06/10/2015. Bul. No. 6. 9 p.: 1 fig.

[Kalinina et al., 2015](#) – *Kalinina O., Giani L., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Chertov O., Barmin A.N.* (2015). Self-restoration of post-agrogenic soils of calcisol-solonetz complex: soil development, carbon stock dynamics of carbon pools. *Geoderma*, 237: 117–128.

[Kalinitchenko et al., 2016](#) – *Kalinitchenko V., Batukaev A., Zarmaev A., Startsev V., Chernenko V., Dikaev Z., Sushkova S.* (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-3419 EGU General Assembly. Vienna.

[Kalinitchenko et al., 2017](#) – *Kalinitchenko V., Batukaev A., Batukaev M., Minkina T.* (2017). Biogeosystem Technique as a method to correct the climate. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 19, EGU2017-2540, EGU General Assembly, Vienna, 23 – 28 April 2017.

[Kalinitchenko, 2016](#) – *Kalinitchenko V.P.* (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review). *International Journal of Environmental Problems*, 2(4): 99–130. DOI: 10.13187/ijep.2016.4.99

[Kalinitchenko, 2017](#) – *Kalinitchenko V.P.* (2017). Renewal of Energy and Life in the Biosphere. *European Journal of Renewable Energy*, 2(1): 3–28. DOI: 10.13187/ejore.2017.1.3.

[Kolesnikov et al., 2013](#) – *Kolesnikov S.I., Yaroslavtsev M.V., Spivakova N.A., Kazev K.Sh.* (2013). Comparative assessment of the sustainability of the biological properties of chernozems of Southern Russia to the pollution of Cr, Cu, Ni, Pb in a model experiment. *Soil Science*, 2: 195.

[Korost et al., 2012](#) – *Korost D.V., Gerke K.M., Skvortsova E.B.* (2012). Exploration soil structure by X-ray tomography: examples of Russian soil and prospects of the method / Proceedings of the VI Congress of the Soil Science Society of VV Dokuchaev. Petrozavodsk-Moscow, 13–18 August 2012. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center RAS.

[Kovalchuk et al., 2013](#) – *Kovalchuk M.V., Naraikin O.S., Yatsishina E.B.* (2013). The convergence of science and technology – a new stage of scientific and technological development. *Questions of Philosophy*, 3: 3–11.

- Kovalchuk, Naraikin, 2017 – Kovalchuk M.V, Naraikin O.S. (2017). Nature-like technologies – new opportunities and new threats. *Security Index*, 22: 103–108.
- Kudeyarov et al., 2017 – Kudeyarov V.N., Sokolov M.S., Glinushkin A.P. (2017). The current state of the soil of agrocenoses of Russia, measures for their recovery and rational use. *Agrochemistry*, 6: 3–11.
- Kudeyarov, 2015 – Kudeyarov V.N. (2015). Assessment of nutrient degradation of arable soils of Russia. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 85(9): 771.
- Kudeyarov, 2015 – Kudeyarov V.N. (2015). Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration. *Eurasian Soil Science*, 48(9): 923–933. DOI: 10.1134/S1064229315090070
- Kudeyarov, 2018a – Kudeyarov V.N. (2018). Carbon balance of terrestrial ecosystems on the territory of Russia for the 25th anniversary of the adoption of the UN Framework Convention on Climate Change. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 88(2): 179–183.
- Kudeyarov, 2018b – Kudeyarov V.N. (2018). The balance of nitrogen, phosphorus and potassium in agriculture in Russia. *Agrochemistry*, 10: 3–11. DOI: 10.1134 / S0002188118100101
- Kurganova et al., 2010 – Kurganova I.N., Kudeyarov V.N., Lopes De Gerenyu V.O. (2010). Updated estimate of carbon balance on Russian territory. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 62(5): 497–505.
- Lal, 2004 – Lal R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1): 1–22. DOI: doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032
- Lal, 2008 – Lal R. (2008). Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbonpools. *Energy & Environmental Science*, 1: 86–100. DOI: 10.1039/B809492F
- Lapin, Lyagushkin, 2014 – Lapin A.V., Lyagushkin A.P. (2014). The Kovdor apatite-francolite deposit as a prospective source of phosphate ore. *Geology of Ore Deposits*, 56(1): 61–80. [Electronic resource]. URL: <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1075701513060056>
- Laudicina et al., 2013 – Laudicina V.A., Palazzolo E., Badalucco L. (2013). Natural Organic Compounds in Soil Solution: Potential Role as Soil Quality Indicators. *Current Organic Chemistry*, 17(24): 2991–997. DOI: 10.2174/13852728113179990120
- Le et al., 2011 – Le Phong V.V., Praveen Kumar, and Darren T. Drewry (2011). Implications for the hydrologic cycle under climate change due to the expansion of bioenergy crops in the Midwestern United States. *PNAS*, 108(37): 15085–15090. DOI: 10.1073/pnas.1107177108
- Lee et al., 2010 – Lee J.W., Hawkins B., Day D.M., Reicosky D.C. (2010). Sustainability: the capacity of smokeless biomasspyrolysis for energy production, global carboncapture and sequestration. *Energy & Environment Science*, 3: 1695–1705. DOI: 10.1039/C004561F
- Lin et al., 2018 – Lin L., Gettelman A., Fu Q. Xu Y. (2018). Simulated differences in 21st century aridity due to different scenarios of greenhouse gases and aerosols. *Climatic Change*, 146(3–4): 407–422.
- Lisetskii et al., 2015 – Lisetskii F., Marinina O., Stolba V.F. (2015). Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, steppe Crimea. *Geoderma*, 239–240: 304–316.
- Lisetsky, Rodionova, 2015 – Lisetsky F.N., Rodionova M.E. (2015). Soil change of dry steppe as a result of centuries-old agrogenic effects (in the vicinity of ancient Olbia). *Soil Science*, 4: 397.
- Lizik et al., 2013 – Lizik W., Im J., Semrau J.D., Barcelona M.J. (2013). A field trial of nutrient stimulation of methanotrophs to reduce greenhouse gas emissions from landfill cover soils. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63(3): 300–309. DOI: 10.1080/10962247.2012.755137
- López-Ballesteros et al., 2018 – López-Ballesteros A., Oyonarte C., Kowalski A.S., Serrano-Ortiz P., Sánchez-Cañete E.P., Moya M.R., Domingo F. (2018). Can land degradation drive differences in the C exchange of two similar semiarid ecosystems? *Biogeosciences*, 15: 263–78. DOI: doi.org/10.5194/bg-15-263-2018
- Mansvelt Van, 2017 – Mansvelt Van J.D. (2017). Soil Fertility in Agriculture: Russia – Western Europe – USA: in the Past and Today. *Biogeosystem Technique*, 4(2): 220–231. DOI: 10.13187/bgt.2018.1.87
- Miao et al., 2011 – Miao Y., Stewart B.A., Zhang F. (2011). Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31: 397–414. DOI: 10.1051/agro/2010034

[Minasny et al., 2017](#) – Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Angers D.A., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.-S., Cheng K., Das B.S., Field D.J., Gimona A., Hedley C.B., Hong S.Y., Mandal B., Marchant B.P., Martin M., McConkey B.G., ... Winowiecki L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292(15): 59–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

[Minkina et al., 2013](#) – Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Fedorov Yu.A., Sushkova S.N., Burachevskaya M.V., Nevidomskaya D.G., Antonenko E.M., Kalinichenko V.P., Endovitsky A.P., Il'in V.B., Chernenko V.V., Bakoev S.Yu. (2013). Patent RU № 2521362 C2. A method for assessing the degree of degradation of the techno-landscape during chemical pollution. IPC C01B (2006.01), E02B13 / 00, G01N33 / 24. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on April 30, 2014. Application No. 2012101597/20 (002163) of 01/17/12. Published 06/27/2014. Bul. No. 18. 7 p.

[Mishchenko et al., 2009](#) – Mishchenko N.A., Gromyko E.V., Kalinichenko V.P., Chernenko V.V., Larin S.V. (2009). Ecological and recreational recycling of phosphogypsum in black soil on the example of the Krasnodar Territory. *Fertility*, 6: 25–26.

[Mishustin, Yemtsev, 1974](#) – Mishustin E.N., Yemtsev V.T. (1974). Soil nitrogen-fixing bacteria of the genus *Clostridium*. M.: Science, 251 p.

[Moskalenko et al., 2013](#) – Moskalenko A.P., Kalinichenko V.P., Ovchinnikov V.N., Moskalenko S.A., Gubachev V.A. (2013). Biogeosystem Technique – the basis of the practice of environmental policy and environmental economics. *Economy and Entrepreneurship*, 12-3(41-3): 160–165.

[Mun et al., 2013](#) – Moon S.A., Larin S.A., Glushkov A.N. (2013). The impact of coal mining on air pollution and the incidence of lung cancer in the Kemerovo region. *Modern problems of science and education*, 1.

[Popovskaya et al., 2011](#) – Popovskaya G.I., Sorokovnikova L.M., Tomberg I.V., Bashenkhaeva N.V., Tashlykova N.A. (2011). Chemical composition characteristics of water and phytoplankton development in Lake Zavernyaikha. *Geography and Natural Resources*, 32(4): 344–9. DOI: [10.1134/S187537281104007X](https://doi.org/10.1134/S187537281104007X)

[Post et al., 2018](#) – Post H., Hendricks Franssen H.-J., Han X., Baatz R., Montzka C., Schmidt M., Vereecken H. (2018). Evaluation and uncertainty analysis of regional-scale CLM4.5 net carbon flux estimates. *Biogeosciences*, 15: 187–208. DOI: doi.org/10.5194/bg-15-187-2018

[Qualls et al., 2009](#) – Qualls R.G., Sherwood L.J., Richardson C.J. (2009). Effect of natural dissolved organic carbon on phosphate removal by ferric chloride and aluminum sulfate treatment of water in wetlands. *Water Resources Research*, 45(9): 9414–23. DOI: [10.1029/2008WR007287](https://doi.org/10.1029/2008WR007287)

[Qualls, 2016](#) – Qualls R.G. (2016). Long-Term (13 Years) Decomposition Rates of Forest Floor Organic Matter on Paired Coniferous and Deciduous Watersheds with Contrasting Temperature Regimes. *Forests*, 7(10): 231.

[Rascher et al., 2004](#) – Rascher U., Bobich E.G., Lin G.H., Walter A., Morris T., Nichol C.J., Pierce D., Bil K., Berry J.A., Naumann M., Kudeyarov V. (2004). Functional diversity of photosynthesis during drought in a model tropical rainforest – the contributions of leaf area, photosynthetic electron transport and stomatal conductance to reduction in net ecosystem carbon exchange. *Plant, Cell & Environment*, 27(10): 1239–1256.

[Rothman, 2015](#) – Rothman D.H. (2015). Earth's carbon cycle: A mathematical perspective. *Bulletin of American Mathematic Society*, 52: 47–64. DOI: <https://doi.org/10.1090/S0273-0979-2014-01471-5>

[Ruddiman, 2003](#) – Ruddiman W.F. (2003). The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago. *Climatic Change*, 61(3): 261–293.

[Sazykin et al., 2016](#) – Sazykin I.S., Sazykina M.A., Khmelevtsova L.E., Mirina E.A., Kudeevskaya E.M., Rogulin E.A., Rakin A.V. (2016). Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of southern Russia and southern Germany. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(3): 945–954.

[Schäfer et al., 2003](#) – Schäfer K.V.R., Oren R., Ellsworth D.S., Chun-Ta Lai, Herrick J.D., Finzi A.C., Richter D.D., Katul G.G. (2003). Exposure to an enriched CO₂ atmosphere alters carbon assimilation and allocation in a pine forest ecosystem. *Global Change Biology*, 9(10): 1378–1400. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00662.x>

- [Schlüter, Vogel, 2016](#) – *Schlüter S. and Vogel H.-J.* (2016). Analysis of Soil Structure Turnover with Garnet Particles and X-Ray Microtomography. *PLoS One*, 11(7): e0159948. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159948>
- [Semenov, 2016](#) – *Semenov A.M.* (2016). Soil health is a new feature in the knowledge of soil ecosystems: methods of determination, diagnosis, rehabilitation. *Scientific life*, 1: 146–161.
- [Semenov, Sokolov, 2016](#) – *Semenov A.M., Sokolov M.S.* (2016). The concept of soil health: the fundamental and applied aspects of the justification of evaluation criteria, *Agrochemistry* 1: 3–16.
- [Serrano et al., 2012](#) – *Serrano D.P., Dufour J., Iribarren D.* (2012). On the feasibility of producing hydrogen with net carbon fixation by the decomposition of vegetable and microalgal oils. *Energy & Environmental Science*, 5: 6126–6135. DOI: 10.1039/C2EE02709G
- [Sharshak et al., 1974](#) – *Sharshak V.K., Moskvichev N.N., Ladan E.P., Genev E. D., Slyusarev V.S.* (1974). The combined soil-cultivating tool. A.S. USSR № 442760. A01B 49/00, A01B 33/10. Application 1855058 / 30-15 dated 11.12.72. B.I. No. 34. 15.09.74.
- [Shein et al., 2014a](#) – *Shein E.V., Erol S.A., Milanovskii E.Yu., Verkhovtseva N.V., Mikayilov F.D., Er F., and Ersahin S.* (2014). Agrophysical Assessment of Alluvial Calcareous Soils of the Cumra Region of Central Anatolia in Turkey. *Eurasian Soil Science*, 47(7): 694–698.
- [Shein et al., 2014b](#) – *Shein E.V., Skvortsova E.B., Abrosimov K.N.* (2014). Tomographic studies of the soil pore space in swelling and shrinkage processes. Abstract book. 9th International Soil Science Congress on "The Soul of Soil and Civilization", Soil Science of Turkey Cooperation with Federation of Eurasian Soil Science Societies, P. 107.
- [Shein et al., 2017](#) – *Shein E.V., Kharitonova G.V., Amgalan B., Sambuu G., Krutikova V.O., Kharitonov E.V.* (2017). Salt Neof ormations in Soils of Central Mongolia. *Biogeosystem Technique*, 4(1): 66–81. DOI: 10.13187/bgt.2017.1.66
- [Shein et al., 2018](#) – *Shein E.V., Belik A.A., Kokoreva A.A., Kolupaeva V.N.* (2018). Quantitative assessment of the heterogeneity of the flows of substances by the parameter “mixing step” for mathematical models of the migration of pesticides in soils. *Soil Science*, 7: 852–858. DOI: 10.1134 / S0032180X18070080
- [Shein, 2015](#) – *Shein E.V.* (2015). Mathematical physically based models in soil science: the history of development, the current state of the problems and prospects (analytical review). *Soil Science*, 7: 816.
- [Shelby et al., 2011](#) – *Shelby G., Laird C.R., Ford S.H., Laseter J.M., Vose J.M.* (2011). Long-term forest management and climate effects on streamflow, *Proceedings of The Fourth Interagency Conference on Research in the Watersheds*. Fairbanks, AK, USA; 26–30 September 2011, pp. 108–13.
- [Sokolov et al., 2010](#) – *Sokolov M.S., Dorodnykh Yu.L., Marchenko A.I.* (2010). Healthy Soil as a Necessary Condition of Human Life. *Eurasian Soil Science*, 43(7): 802–809.
- [Sokolov et al., 2015](#) – *Sokolov M.S., Glinushkin A.P., Toropova E.Yu.* (2015). Phytosanitary and social aspects of environmentally healthy soil functions. *Agrochemistry*, 8: 81–94.
- [Sokolov et al., 2018](#) – *Sokolov M.S., Spiridonov Yu.Y., Kalnitchenko V.P., Glinushkin A.P.* (2018). The controlled coevolution of the pedosphere is a real biospheric strategy of the 21st century (a contribution to the development of the noospheric ideas of V.I. Vernadsky). *Agrochemistry*, 11: 3–18. DOI: 10.1134/S0002188118110091
- [Sokolov, 2013](#) – *Sokolov M.S.* (2013). V.I. Vernadsky and his Biospherology. *Biosphere*, 5(1): 9–20.
- [Sokolov, Glazko, 2015](#) – *Sokolov M.S., Glazko V.I.* (2015). Minimization of the negative socio-environmental consequences of technogenesis in the agricultural sphere of Russia. *Agrochemistry*, 3: 3–9.
- [Spencer et al., 2012](#) – *Spencer R.G.M., Butler K.D., Aiken G.R.* (2012). Dissolved organic carbon and chromophoric dissolved organic matter properties of rivers in the USA. *Journal of Geophysical Research*, 117(G3). DOI: 10.1029/2011JG001928.
- [State Report, 2016](#) – State Report "On the State and Use of Mineral Resources of the Russian Federation in 2015. M.: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, 2016. p. 267–283. [Electronic resource]. URL: <http://www.mineral.ru>
- [Stocker, 2014](#) – *Stocker T. (ed.)*. (2014). Climate change: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York Cambridge University Press, ISBN 978-1-10741-532-4. OCLC 881236891

- Swann et al., 2016 – Swann A.L.S., Hoffman F.M., Koven C.D., and Randerson J.T. (2016). Plant responses to increasing CO₂ reduce estimates of climate impacts on drought severity. *PNAS*, 113(36): 10019–10024, DOI: 10.1073/pnas.1604581113
- TehTab, 2017 – TehTab.ru [Electronic resource]. URL: <http://tehtab.ru/Guide/GuideMedias/CO2/CO2acceptableLevels/> (date of access 2018-12-07)
- Thayer, 2017 – Thayer R.H. (2017). Carbon Dioxide Enrichment Methods. Hydrofarm // *Eco Enterprises*. [Electronic resource]. URL: https://www.hydrofarm.com/resources/articles/co2_enrichment.php (date of access 2018-12-07).
- Thurman, 1985 – Thurman E.M. (1985). Amount of Organic Carbon in Natural Waters. *Organic Geochemistry of Natural Waters, Developments in Biogeochemistry*, 2: 7–65. DOI: doi.org/10.1007/978-94-009-5095-5_2
- Topunova et al., 2010 – Topunova I.V., Prikhodko V.E., Sokolova T.A. (2010). Influence of irrigation on the content and mineralogical composition of the clay fraction of the chernozem of the Rostov region (Bagaevsky-Sadkovsky irrigation system). *Moscow University Bulletin. Series 17: Soil Science*, 1: 3–10.
- Umarov et al., 2007 – Umarov M.M., Kurakov A.V., Stepanov A.L. (2007). Microbiological transformation of nitrogen in the soil. Publisher: GEOS, 138 p.
- Umarov, 1986 – Umarov M.M. (1986). Associative nitrogen fixation. Publisher: MSU, 136 p. [Electronic resource]. URL: <https://www.twirpx.com/file/1222654/>
- Urpelainen, 2012 – Urpelainen J. (2012). Geoengineering and global warming: a strategic perspective., *International Environmental Agreements*, 12: 375. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10784-012-9167-0>
- Uselman et al., 2012 – Uselman S.M., Qualls R.G., Liliénfein J. (2012). Quality of soluble organic C, N, and P produced by different types and species of litter: root litter versus leaf litter. *Soil Biology and Biochemistry*, 54: 57–67. DOI: doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.021
- USEPA, 2018 – USEPA. Overview of Greenhouse Gases. [Electronic resource]. URL: <https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/n2o.html> (date of access 2018-12-07).
- Vanden Bygaart, 2018 – Vanden Bygaart A.J. (2018). Comments on soil carbon 4 per mille by Minasny and other 2017. *Geoderma*, 309 (1): 113–4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.024>
- Virto et al., 2011 – Virto I., Gartzia-Bengoetxea N., Fernández-Ugalde O. (2011). Role of Organic Matter and Carbonates in Soil Aggregation Estimated Using Laser Diffractometry. *Pedosphere*, 21(5): 566–72. DOI: doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60158-6
- Wimde, 2018 – Wimde V. (2018). Soil carbon 4 per mille: a good initiative but let's manage not only the soil but also the expectations: Comment on Minasny and other (2017). *Geoderma*, 292: 59–86, *Geoderma*, 309(1): 111–2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.023>
- Wittwer, Strain, 1985 – Wittwer S.H., Strain B.R. (1985). Carbon dioxide levels in the biosphere: Effects on plant productivity. *Critical Reviews in Plant Science*, 2(3): 171–198. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07352688509382195>
- Wood, 2014 – Wood E.F. (2014). The Challenges of Developing a Framework for Global Water Cycle Monitoring and Predicting. Alfred Wegener Medal Lecture. EGU General Assembly. Vienna, Wednesday, 30, April.
- Wu et al., 2013 – Wu Z., Lall U., Zhao M. (2013). Worldwide Comparison of Water Use Efficiency of Crop Production. *Applied Mechanics and Materials*, 275: 2718–2722.
- Wu et al., 2016 – Wu L., Chen J., Wu H., Qin X., Wang J., Wu Y., Khan M.U., Lin S., Xiao Z., Luo X., Zhang Z. and Lin W. (2016). Insights into the Regulation of Rhizosphere Bacterial Communities by Application of Bio-organic Fertilizer in *Pseudostellaria heterophylla* Monoculture Regime. *Frontiers of Microbiology*, 7: 1788. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01788
- Yablokov et al., 2015 – Yablokov A.V., Levchenko V.F., Kerzhentsev A.S. (2015). Essays on biosphere. 1. There is a solution: the transition to a controlled evolution of the biosphere. *Philosophy & Cosmology*, 14: 92–118.
- Zaitseva et al., 2013 – Zaitseva R.I., Nikitina N.S., Sudnitsyn I.I. (2003). The effect of the concentration and osmotic pressure of soil solution on the availability of water to plants. *Eurasian Soil Science*, 36(9): 1003–1009.

Zalinge Van et al., 2017 – Van Zalinge B.C., Feng Q.Y., Aengenheyster M., Dijkstra H.A. (2017). On determining the point of no return in climate change. *Earth System Dynamics*, 8: 707–17. DOI: doi.org/10.5194/esd-8-707-2017

Zhu et al., 2016 – Zhu Z., Piao S., Myneni R.B., Huang M., Zeng Z., Canadell J.G., Ciais P., Sitch S., Friedlingstein P., Arneth A., Cao C., Cheng L., Kato E., Koven C., Li Y., Lian X., Liu Y., Liu R., Mao J., Pan Y., Peng S., Peñuelas J., Poulter B., Pugh T.A.M., Stocker B.D., Viouy N., Wang X., Wang Y., Xiao Z., Yang H., Zaehle S., Zeng N. (2016). Greening of the Earth and its drivers. *Nature Climate Change*, 6(8): 791–95. DOI: 10.1038/nclimate3004. ISSN 1758-6798

Zubrzycki et al., 2013 – Zubrzycki S., Kutzbach L., Grosse G., Desyatkin A., Pfeiffer E.-M. (2013). Organic carbon and total nitrogen stocks in soils of the Lena River Delta. *Biogeosciences* 10: 3507–24. DOI: doi.org/10.5194/bg-10-3507-2013

Zvyagintsev et al., 2005 – Zvyagintsev D.G., Babieva I.L., Zenova G.M. (2005). Soil biology. M.: MGU Publishing House. 455 p.

Природоподобные технологии биogeосистемотехники в решении глобальной социально-экологической проблемы

Алексей Павлович Глинушкин^a, Валерий Николаевич Кудеяров^{a, b},
Михаил Сергеевич Соколов^{a, *}, Владимир Евгеньевич Зинченко^c,
Владимир Владимирович Черненко^d

^a Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Большие Вязёмы, Российская Федерация

^b Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Российская Федерация

^c Федеральный ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация

^d Институт плодородия почв юга России, Персиановка, Российская Федерация

Аннотация. Плодородие почвы связано с её здоровьем, определяющим средообразующие (экологические) функции наземно-почвенной экосистемы – качество производимой биопродукции, минимизацию экотоксикантной нагрузки на эко- и социосферу. При текущем конфликте биосферы и техногенеза важно избежать возрастающих эволюционных рисков, связанных в первую очередь с негативными последствиями глобальной социально-экологической проблемы. Наиболее приемлемый для этого путь – предсказуемая коэволюция техносферы (ноосферы) и биосферы. В этой связи актуальна разработка принципиально новых природоподобных решений и технологий применительно к балансу – пулам, драйверам, потокам – важнейших биофильных элементов (углерода и др.). Сегодня возможности контролировать цикл углерода в агроосфере весьма ограничены. К тому же данные о его балансе, рассчитанные по разным моделям, существенно различаются. По-видимому, наиболее реально интенсифицировать его сток в наземно-почвенную экосистему. Потенциал технологической устойчивости секвестра и захоронения органического углерода (Balance enrichment of C capture and storage – BECCS) в настоящее время выглядит усечённым из-за узких рамок традиционного подхода к воздействию на экосферу. Вносимые в почву в больших количествах питательные вещества (в частности, азот) по разным причинам в значительной степени элиминируют из корнеобитаемого слоя вследствие вымывания и/или улетучивания. В целом, агрогеохимический баланс НРК в почвах России весьма неблагоприятный, во многом из-за систематического избыточного экспорта минеральных удобрений за рубеж. При оздоровлении почвы, оптимизации минерального питания важнейших культур страна в ближайшей перспективе может оказаться лидером экспортеров продовольствия. Необходимо переосмыслить пути взаимодействия социума с биосферой и с её важнейшим компонентом – педосферой. В качестве новой парадигмы развития предложена

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: sokolov34@mail.ru (М.С. Соколов)

«биogeосистeмотeхникa» – инновационное научно-технологическое направление с природоподобными алгоритмами, технологиями и техническими решениями. Одно из них – управление системой агрегатов почвы и биогeохимическим циклом вещества в целях создания природоподобных биogeосистeм с трансцендентальными свойствами. Обоснован принцип эффективной мелиорации почвы агроценозов посредством фрезерной обработки её иллювиального горизонта (слой 20–45 см), что позволило в течение длительного периода обеспечить рост продуктивности агроценоза и достичь стабильно высоких экономических показателей. Предложена новая природоподобная водная стратегия биogeосистeмотeхники – внутрпочвенная импульсная континуально-дискретная парадигма увлажнения. В фазе подачи воду впрыскивают в почву, дозированно распределяют её в вертикальном цилиндре первичного увлажнения на глубине 10–40 см. В последующем влага из цилиндра первичного увлажнения перераспределяется капиллярным, пленочным и парообразным переносом. Предлагаемая технология полива исключает потери воды, её негативное избыточное воздействие на почву и агроландшафт, что характерно для стандартной ирригации. Предложена и обоснована природоподобная технология рециклинга минеральных и органических отходов, обеспечивающая (одновременно с внутрпочвенным фрезерованием слоя 20–45 см) синтез *in situ* мелиорирующих и удобрительных субстанций. Образовавшаяся развитая искусственная геофизическая система агрегатов («почва – отходы») приоритетный субстрат для рециклинга. В итоге оптимизируется фитоиммунный статус почвы, обеспечивается её биоремедиация, улучшается фитосанитарная обстановка в агрофитоценозе. Таким образом, контролируемая коэволюционная интенсификация агроферы методами биogeосистeмотeхники обеспечит эффективную реализацию государственных стратегических программ развития природоподобных технологий. Это повысит качество жизни населения, а реальное решение глобальной социально-экологической проблемы обеспечит производство дополнительного биотоплива, сырья и продовольствия, повысит устойчивость биосферы за счет сбережения биоразнообразия, биологизации земледелия и реализации почвозащитной стратегии.

Ключевые слова: конфликт биосферы и техногенез, глобальная социально-экологическая проблема, почва, здоровье, биогeохимический цикл, биogeосистeмотeхникa.