

**В.И. Степанова<sup>1</sup>**

## **МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ ПОТОКОВЫХ КАРТ ПЛАСТИКИ**

### **АННОТАЦИЯ**

Почва является бесценным природным богатством, обеспечивающим человека необходимыми продовольственными ресурсами. Продовольственная безопасность и почва тесно взаимосвязаны. Главное внимание продовольственная безопасность обращает на производство и обеспечение продуктов питания, но в этих звеньях отсутствует главное – почвы. До настоящего времени почвенные ресурсы не рассматриваются как приоритетные с точки зрения продовольственной безопасности и поддержания функционирования наземных экосистем. Ничто не может заменить почвенный покров: без этого колоссального природного объекта невозможна жизнь на земле. Вместе с тем сегодня можно наблюдать неправильное использование почвы, что приводит к росту её загрязнения и, как следствие, снижению её плодородных свойств [Ахмадов, 2014]. Карты пластики рельефа – это стратегический план ведения хозяйственной деятельности человеком согласно с законами природы. Действуя по этим законам, используя весь потенциал рельефа, можно значительно повысить производительность сельскохозяйственных предприятий, уровень и качество жизни населения, избежать возникновения большинства аварийных ситуаций. Суть этого метода состоит в том, что до выезда в поле в камеральных условиях тщательно анализируются горизонталы топографических карт. Этот анализ основан на применении метода вторых производных, позволяющего геометрически преобразовать горизонталы так, что выделяются ареалы выпуклостей (поверхности относительных повышений). Технология выделения выпуклостей осуществляется с помощью принципиально новой изолинии – морфоизографы – линии нулевой плановой кривизны [Степанов, 1984].

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** карты пластики рельефа, экологическая карта, методы картографирования

**Vera I. Stepanova<sup>2</sup>**

## **MODEL OF MONITORING OF ECOLOGICAL STATE OF SOIL COVER OF MOSCOW REGION WITH THE HELP OF STREAM MAPS OF THE PLASTIC**

### **ABSTRACT**

Soil is an invaluable natural resource, providing the necessary food resources. Food security and soil are closely linked. Main focus industrial safety concerned with the production and provision of food, but the lack of these links – soil. To date soil resources not considered as a priority

---

<sup>1</sup> ФГБУН Институт биологического приборостроения с опытным производством РАН, ул. Институтская, д. 7, г. Пущино Московской обл., Россия, *e-mail*: [agroecology@inbox.ru](mailto:agroecology@inbox.ru)

<sup>2</sup> Institute for biological instrumentation of RAS, 7 Institutskaya str., Pushchino, Moscow region, Russia, *e-mail*: [agroecology@inbox.ru](mailto:agroecology@inbox.ru)

from the point of view of food security and maintaining the functioning of terrestrial ecosystems. There is no substitute for soil cover: without this huge natural object of life is impossible on earth. However, today we can observe the misuse of the soil, which leads to increase of pollution and, consequently, reduce its fertile properties [Akhmadov, 2014]. Map of plastic terrain is a strategic plan for the business person in accordance with the laws of nature. Acting under these laws, using the full potential of the relief, it is possible to significantly improve the performance of agriculture enterprises, the level and quality of life of the population, to avoid the occurrence of most emergencies. This method presupposes thorough office analysis of topographic map horizontals before the set-off. Such analysis is based on the flexion method, allowing to geometrically convert the horizontals in the way the natural habitats of convexities become vivid (relative elevation surface). Convexities become vivid due to the principally new isolines – morphoisographs – the zero horizontal curvature lines [Stepanov, 1984].

**KEYWORDS:** maps of relief plastic, ecological map, methods of mapping

## ВВЕДЕНИЕ

Земли сельскохозяйственного назначения играют основную роль в обеспечении человечества продуктами питания и сырьём для различных отраслей промышленности. От свойств почв и протекающих в них химических и биохимических процессов зависят чистота и состав атмосферы, наземных и подземных вод. Московская область является одним из наиболее экономически развитых субъектов России. Промышленность оказывает негативное воздействие на экологическую ситуацию во многих районах области. В настоящее время в Московской области десятки тысяч гектаров выведены из сельскохозяйственного использования, происходит деградация почв и уничтожение её плодородия. Урон от ухудшения и разрушения почв и земель от воздействия антропогенных факторов выражается в первую очередь в деградации почв и земель, их загрязнении химическими веществами. В основном земли Московской области загрязняют мусор, нефтепродукты, ядохимикаты, пестициды, гербициды, химические удобрения, навоз. По уровню внесения пестицидов в почву на первых местах расположены Мытищинский, Люберецкий, Талдомский, Балашихинский районы (более 5 кг/га). Также неблагоприятная ситуация замечена в Егорьевском, Ногинском, Загорском, Одинцовском, Дмитровском, Сергиево-Посадском районах. 40 % земли Московской области занимают почвы, загрязнённые тяжёлыми металлами, среди которых олово, молибден, вольфрам, серебро, медь, ртуть, свинец, стронций, цинк, барий, кадмий и другие.

Объективное описание механизма формирования антропогенно преобразованных почв в реальных физико-географических условиях конкретной территории можно получить при комплексном подходе к решению задачи с помощью совместного использования космических снимков высокого разрешения, топографических карт крупного масштаба, полевых съёмки на территории исследования с последующим представлением местности в виде цифровых моделей. В качестве последних могут быть использованы приёмы формализованного описания местности с помощью экологических карт пластики рельефа. Преимущества метода пластики заключаются в том, что он позволяет поставить в соответствие точке пробоотбора конкретную характеристику рельефа.

Такой подход был предложен профессором, Заслуженным деятелем науки РФ И.Н. Степановым [2003]. Использование данного метода в наши дни позволяет составлять математически точные почвенные карты, представляющие почвенные тела в форме образов геометродинамики – потоков, находящихся в непрерывном «движении». На почвенных картах пластики каждая разновидность имеет свой адрес среди взаимодействующих элементарных почвенных ареалов (ЭПА) генетически и функционально единой древовидной (потоковой) почвенной системы [Докучаев, 1949].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для того чтобы глубже понять идею потоковых структур, нами приведены иллюстрации. На рис. 1 показаны начальная точка потока R – репеллер и конечная точка A (аттрактор), к которой стремятся концевые части любого потока. Аттрактор может быть в виде линии (русла реки, геологического разлома и так далее). Между аттрактором и репеллером располагают точки бифуркации, то есть точки ветвления потока (b).

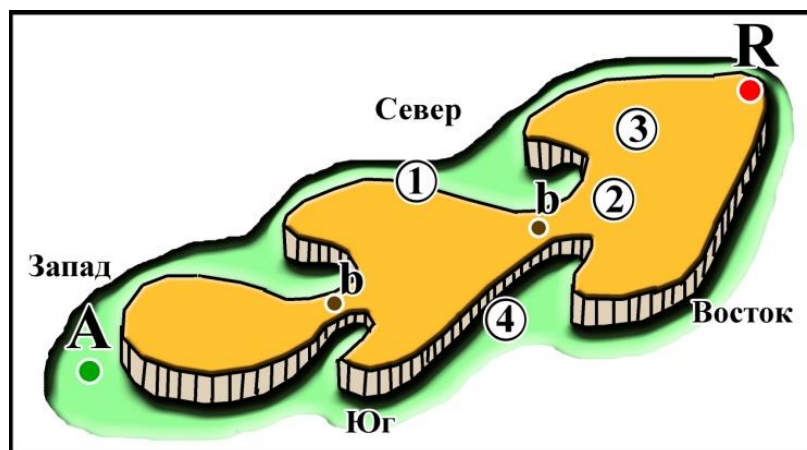


Рис. 1. Пояснения к структуре потока почвенной карты.

- 1) морфоизографа – изолиния нулевой плановой кривизны, отделяющая выпуклость (коричневого цвета) от вогнутости (зелёного цвета);
  - 2) водораздельная часть с точками бифуркации (b);
  - 3) поток; 4) подложка, по которой «движется» поток;
- R) начальная высокая точка потока;  
A) аттрактор – низкая часть потока,

которой он стремится достичь в процессе движения

Fig. 1. Explanations of structure of the soil map stream.

- 1) morphoisograph – isoline of zero planned curvature separating bulge (brown) from concavity (green);
  - 2) watershed part with the bifurcation points (b);
  - 3) the stream; 4) the substrate on which the stream “moves”;
- R) the initial high point of the stream;  
A) attractor – the low part of the stream, which it seeks to achieve in the process of movement

Под потоком мы имеем в виду относительное повышение. По карте пластики рельефа легко обнаружить, откуда и куда двигался и движется сейчас поток. Например, как видно из рис. 1, поток движется с СВ на ЮЗ; одна сторона его обращена на север, а другая – на юг. При этом можно определить ориентацию относительно стран света каждого ответвления потока. В таком случае легко определить, на склоне какой экспозиции расположена та или иная почва, и отсюда делать агроклиматические прогнозы. Толщиной слоя потока можно показать мощность самой почвы и подстилающих почвообразующих пород<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Степанова В.И. О новом геоинформационном содержании почвенно-агрохимических карт // Агрохимия, 2009. № 7. С. 81–84

На рис. 2 показано, как следует расшифровывать визуально свойства самих потоков. Каждый поток на карте пластики рельефа имеет водораздельную линию (тонкие чёрные стрелки). Эту линию (например, водораздел или тальвег) читатель карты может распознать визуально самостоятельно.

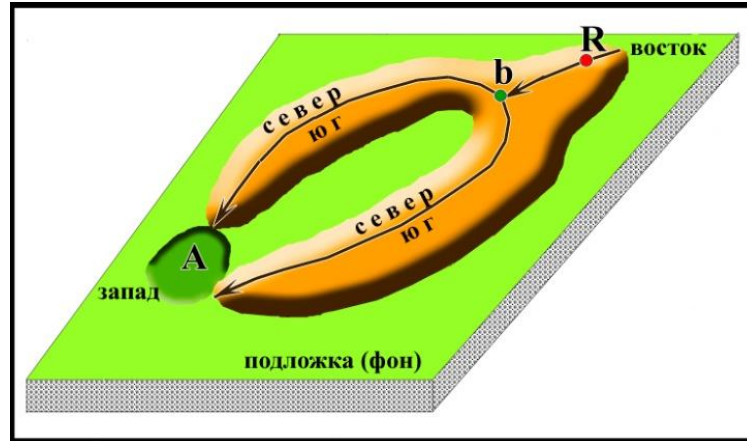


Рис. 2. Выделение водораздельной линии в потоке, выявленном методом пластики рельефа  
 Fig. 2. Selection of the watershed line in the stream revealed by the method of relief plastic

Потоковую почвенную систему в теории пластики представляют как объект физики. Поток (коричневого цвета) как физическое дискретное тело лежит на подложке (зелёный цвет), то есть поверхности, которая в картографической теории пластики рельефа с точки зрения физики представляет собой инерциальную систему отсчёта или тело отсчёта. Слово «подложка» заимствовано из теории симметрии. Относительно подложки движется поток. Таким образом, в теорию тематической картографии вводится фундаментальное физическое понятие – «движение». Почвенные потоки определяют структуру всей изучаемой земной (почвенной) поверхности в виде траекторий, имеющих устойчивые направления движения в сторону глобальных, региональных и местных аттракторов.

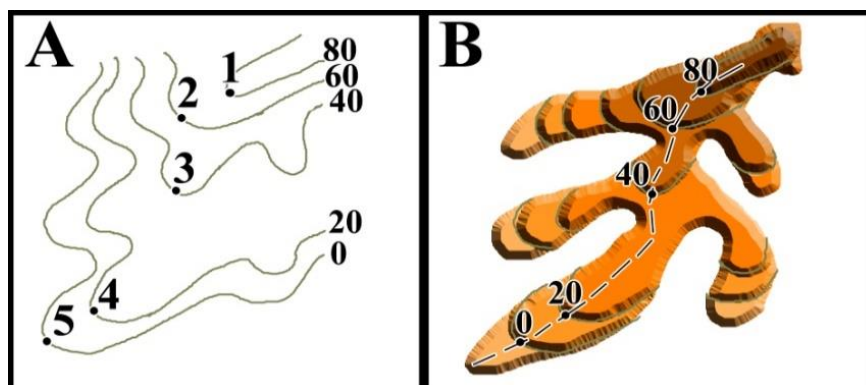


Рис. 3. Показ градиентов высот по карте рельефа с горизонталями (А) и по карте пластики рельефа (В)  
 Fig. 3. Showing gradients of elevations on a relief map with horizontals (A) and on the plastic relief map (B)

Цвет используют для выделения многих почвенных признаков. Обычно цветом показывают типы и подтипы почв. Иногда же цветом на картах пластики рельефа показывают градиенты высот, как на рис. 3.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данной методике группой картографии Института Биологического Приборостроения РАН была составлена в электронном виде почвенно-экологическая карта Московской области масштаба 1:300 000. Представленная математическая модель земной поверхности Московской области (рис. 4) обладает преимуществом, так в неё включены многолетние данные учёных Пушинской школы почвоведения. В её основе – математически формализованный метод пластики рельефа и составленные по нему почвенные карты более 10 областей Центральной России различных масштабов (1:200 000, 1:300 000, 1:400 000). Применение метода генерализации позволило ёмко отобразить математический каркас почвенной поверхности и выявить крупные палеосистемы, в пределах которых в плане происходит пространственное взаимодействие.

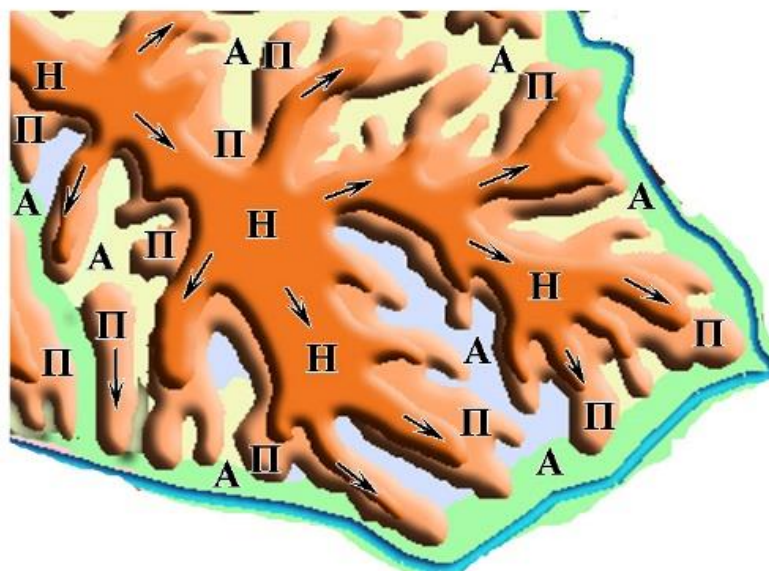


Рис. 4. Демонстрация части потока со схематическим показом расположения нормальных (Н), переходных (П) и аномальных (А) почв согласно классификации почв В.В. Докучаева.

На самой почвенной карте эти буквенные индексы и стрелки отсутствуют  
Fig. 4. Demonstration of part of the stream with a schematic showing the location of normal (H), transitional (P) and abnormal (A) soils according to the V.V. Dokuchaev's classification of soils.  
On the soil map these alphabetic indexes and arrows are absent

На рис. 4 дан участок потока (нижняя его часть). Он имеет древовидную форму с плоским водоразделом, переходным склоном и понижениями. На водоразделе расположены нормальные почвы (они показаны буквой «Н»), на склонах располагаются переходные почвы («П»), а по понижениям – аномальные почвы («А»). Все эти классы почв Докучаева имеют разную окраску, которая свидетельствует о разнообразии всех этих почв. Например, почвы понижений могут быть аллювиальными, болотными, овражно-балочными, а почвы повышений – подзолистыми, серыми лесными, чернозёмами, каштановыми и другими. Почвы переходных склонов включают нормальные и аномальные почвы, но они заметно отличаются наличием смывости/намытости. Стрелки на рис. 4 показывают направление

движения самого потока и вещества, из которого состоит поток, в том числе почвенного. На самих почвенных картах стрелки не показываются. Читателю карты предлагается при- выкать к потоковым контурам как имеющим векторные направления от повышений (репел- леров) к конечным понижениям (аттракторам).

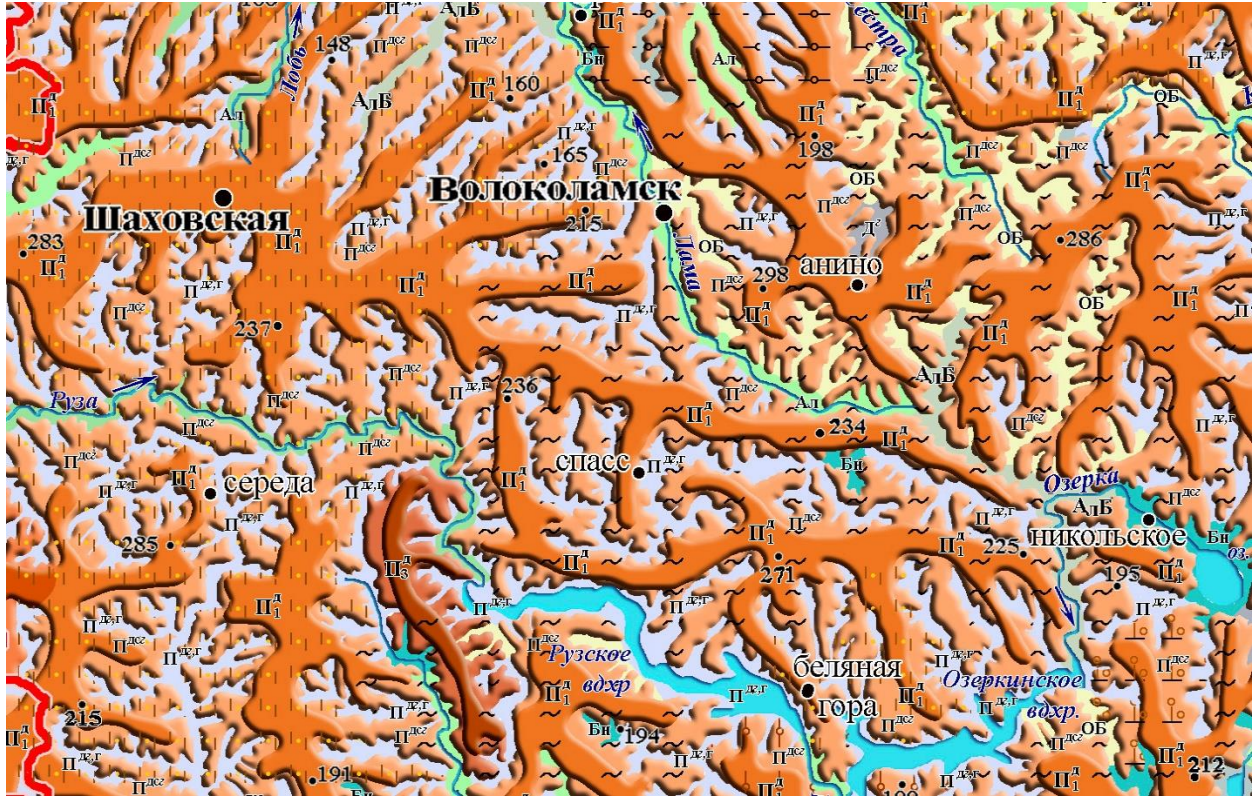


Рис. 5. Динамическая потоковая модель земной поверхности Московской области. Фрагмент почвенно-экологической карты Московской области (масштаб 1:300 000). Коричневый цвет – подзолистые почвы плоских повышений; более светлый цвет – подзолистые почвы переходных склонов; жёлтый цвет – преобладание на территории овражно-балочных почв; фиолетовый – подзолистые глееватые.

Значки – данные механического состава почв.

Значки в контурах – данные по механическому составу почв: глины, тяжёлые суглинки.

Почвы: Пд – дерново-подзолистые, ОБ – овражно-балочные

Fig. 5. Dynamic streaming model of the earth's surface of the Moscow region. A fragment of the soil-ecological map of the Moscow region (scale 1:300 000).

Brown color – podzolic soils of flat elevations; lighter color – podzolic soils of transitional slopes; yellow – the predominance on the territory of gully soils; purple – gley podzolic soils.

Icons – data on the mechanical composition of the soils.

Icons in the contours – data on the mechanical composition of the soils: clay, heavy loam.

Soils: Пд – sod-podzolic, ОБ – ravine-beam

На карте рельеф земной поверхности в процессе преобразования горизонталей топографической карт масштаба 1:200 000 и генерализации был дифференцирован на две фундаментальные системы геометрических относительных форм рельефа в плане в виде двух систем: выпуклостей (относительные повышения, потоки, «водоразделы»), области

дивергенции) и вогнутостей (относительные понижения, подложка для потоков, «долины», области конвергенции). С помощью такой модели теперь стало возможным изучение того или иного географического, почвенного, геологического или гидрогеологического объекта уже в рамках определённых элементов каркаса.

На данном участке Московской области мы видим направление потоков с запада от репеллера Шаховская (самой высокой точки на данном участке – 283 м) к аттрактору – посёлку Никольское (195 м). Сюда «стремятся» потоки, связанные с прошлой геологической деятельностью рек Руза — Озерки — Истра. На карте показано движение почвенно-геологического вещества. Это движение связано с движением аллювия рек, льдов ледников, озёрных вод, с движением пролювия, делювия, коллювия. Характер движения запечатлён в формах потоков.

Основными преимуществами данной карты мы считаем возможность отобразить движение потоков вещества и связь локальных загрязнённых участков с территориями, расположенными на расстоянии десятков и сотен километров от очага загрязнения; выявление и установление границ геохимического загрязнения; рациональное использование земель по месту их положения и качеству.

Также, используя почвенно-экологическую карту, можно проводить математически достоверную дифференциацию территории со склонами разных экспозиций – теневых и солнечных, влажных и сухих (с использованием местной розы ветров), то есть имеющих разные экологические условия и плодородие почв.

Возможности карты пластики в исследовании склоновых процессов были продемонстрированы в работе по изучению перемещения и аккумуляции с почвенными массами радиоактивных элементов. Выявление причинно-следственных связей морфологических элементов и их геохимического содержания на сложных в морфометрическом отношении участках пахотных склонов возможно при условии совместного применения методов дистанционного зондирования и формализованного описания ЦМР методами пластики рельефа и средствами ГИС. Анализ космического снимка, карты пластики рельефа и карты крутизны показал, что в процессе перемещения почвенного материала, обогащённого цезием-137, формируются участки накопления смытого материала у основания склонов ложбины (конусы выноса) с повышенной радиоактивностью; участки же, совпадающие с тальвегом (эрозионные борозды), отличаются пониженной радиоактивностью вследствие смыва верхнего загрязнённого почвенного слоя [Трофимец и др., 2017].

Следующим преимуществом такой карты является наглядное отображение системности. Показано, что естественные процессы на одной территории неразрывно связаны с отдалёнными на сотни километров от эпицентра другими районами земной поверхности. По выпуклым и вогнутым потокам происходит транспортировка растворённых в подземных водах геохимических веществ, в том числе и загрязняющих. Так, выбросы вредных веществ с предприятий, размещённых в верхней части отдельно взятого потока, обязательно будут загрязнять почвы нижеследующих частей потока.

Принцип работы экологической потоковой карты рассмотрим на примере Каширского района Московской области. Точность структур можно проверить составлением подобной же карты по горизонталям масштаба 1:10 000. Термодинамическую работу самих реальных потоков надо проверять по разности в биогеохимическом составе почв, пород и вод между начальными и замыкающими, показанными на рис. 6. Биогеохимические свойства почв, пород и вод, взятых в виде проб и образцов по створам потоков, как показано на рис. 6, должны показать закономерную смену биологических и химических веществ от начального створа к замыкающему.

Грунтовые и подземные воды, проходя в течение длительного времени через мощные толщи Каширской дельты, обогащаются теми или иными биологическими и минеральными веществами (в том числе и загрязняющими) и выносят их в итоге в нижней части дельты в Оку. Если периодически фиксировать в определённых точках конечной части дельты (на

закрывающих створах) содержание ионного стока и образцов почв (пород), то можно получить результаты, которые подтвердят или опровергнут предложенную нами модель мониторинга экологического состояния почвенной поверхности Каширского района.

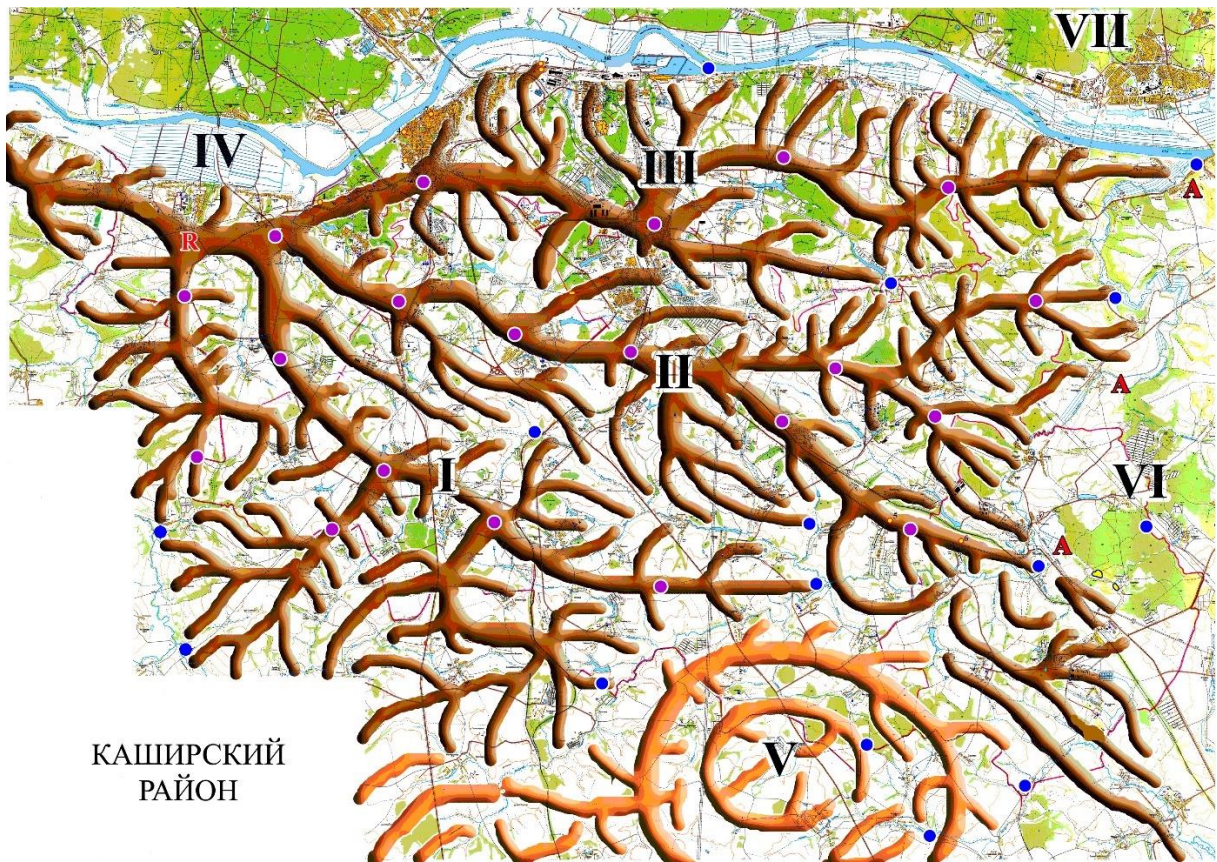


Рис. 6. Места отбора проб воды и образцов почв и пород по трансектам потоков от самой высокой точки (репеллер – красная буква R) до самых низких точек (аттракторы – красные буквы А).

I–III – разновозрастные генерации древней Каширской дельты Оки;  
IV – современная пойма Оки; V – кольцевая структура;  
VI, VII – структуры прилегающих к району территорий.

Сиреневым цветом отмечены точки бифуркации – разветвления потока,  
синим – точки конечных частей потока

Fig. 6. Sites of sampling of water, soil and rock on transects of streams from the highest point (repeller – red letter R) to the lowest points (attractors – red letters A).

I–III – different age generations of the ancient Kashir Delta of Oka;  
IV – modern floodplain of Oka; V – ring structure;  
VI, VII – the structures of territories adjacent to the area.

The points of bifurcation – stream branching – are marked in lilac color,  
the points of the end parts of the stream – in blue

## ВЫВОДЫ

Карты пластики имеют стратегический характер ведения как хозяйственной деятельности, так и рационального использования природных ресурсов и проведения природоохранных мероприятий. Они математически достоверно отражают геологические, почвенные, а с ними микроклиматические процессы. Предлагаемые карты пластики рельефа



доступно отражают динамику литологического, геохимического вещества в виде мельчайших частиц на поверхности или микроэлементов в поверхностных и подземных водах. Потоки таких карт наглядно и математически достоверно указывают пути миграции этих элементов, точки, откуда (наивысшая, репеллер) и куда (низшая, аттрактор) пойдет частица пыли с эрозионного склона или загрязняющие элементы от того или иного предприятия, дороги.

На картах пластики чётко выявляются очертания почвенных систем в виде древовидных ареалов с областями формирования, транзита и аккумуляции водного и солевого стока. К каждой из этих областей приурочены соответствующие, присущие только им, почвы и наносы. Древовидный (поточковый) характер контуров обусловлен тем, что на карте показана связь почв и наносов со спецификой их движения от повышений к понижениям.

Таким образом, с помощью карт пластики рельефа можно:

- моделировать движение загрязняющих веществ по почвенной поверхности и на подповерхностных уровнях;
- анализировать пути миграции и аккумуляции отравляющих веществ и загрязнителей в почвах, грунтах, подземных и грунтовых водах;
- выявлять зоны потенциального возникновения экологических неблагоприятных ситуаций, места возникновения естественных механических и химических барьеров, бассейны или области распространения загрязняющих веществ и другие;
- оптимизировать реорганизацию производственных и жизнеобеспечивающих территорий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахмадов Х.М.* Гармонизация методов, единиц измерения и индикаторов для устойчивого управления и охраны почвенных ресурсов. Самарканд, 2014.
2. *Докучаев В.В.* Избр. Соч. М.: Сельхозгиз, 1949. Т.3. 446 с.
3. *Степанов И.Н.* и др. Временная методика по составлению карт пластики рельефа крупного и среднего масштабов. Метод. рекомендации. Пушкино – Москва: АН СССР, Минводхоз СССР, Союзгипроводхоз, 1984. 20 с.
4. *Степанов И.Н.* Пространство и время в науке о почвах. М.: Наука, 2003, 184 с.
5. *Трофимец Л.Н., Паниди Е.А., Баранов И.П., Степанова В.И., Прядуненко Т.И.* Изучение влияния микрорельефа палеокриогенного происхождения и древних ложбин стока на латеральное распределение гумуса и цезия-137 чернобыльского происхождения на распахиваемом склоне в ареале серых лесных почв. Международная научно-практическая конференция «Природные ресурсы Центрального региона России и их рациональное использование» 28 ноября 2017 года, г. Орёл. Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2017. С. 118–127.

### REFERENCES

1. *Akhmadov H.M.* Harmonization of methods, units of measurement and indicators for sustainable management and protection of soil resources. Samarkand, 2014 (in Russian).
2. *Dokuchaev V.V.* Selected works. Moscow: Selkhozgiz (Agricultural State Publishing House), 1949. V. 3. 446 p. (in Russian).
3. *Stepanov I.N.* Temporary technique for compiling the plastic relief maps, large and medium scales. Method. recommendations. Pushchino–Moscow. The Academy of Sciences of the USSR, Minvodkhoz (Ministry of Water Management), Soyuzgiprovodkhoz (All-Union Institute for Water Engineering Design), 1984. 20 p. (in Russian).
4. *Stepanov I.N.* Space and time in soil science. Moscow: Nauka, 2003. 184 p. (in Russian).
5. *Trofimets L.N., Panidi E.A., Baranov I.P., Stepanova V.I., Prjadunencko T.I.* The study of the influence of microrelief paleocryogenic origin and ancient streambeds on the lateral distribution of humus and cesium-137 of Chernobyl origin on the open slope in the area of grey forest soils.

International scientific and practical conference “Natural resources of the Central region of Russia and their rational use”, Orel, November 28, 2017. Orel: Orel State University named after I.S. Turgenev, 2017. P. 118–128 (in Russian).

---